



Miguel Filipe Pires

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Caracterização de materiais ferrosos em construções antigas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Doutora Maria João Ribeiro Montês Correia, Investigadora Auxiliar,
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Co-orientador: Professora Doutora Paulina Faria, Professora Associada, Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria Teresa Teles Grilo Santana

Arguente: Professor Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar

Vogal: Doutora Maria João Ribeiro Montês Correia



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2019

Copyright © Miguel Filipe Pires, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

Agradecimentos

Concluída esta importante etapa da minha vida, não posso deixar de agradecer e enaltecer todos aqueles que de certa forma contribuíram e estiveram presentes, que deram a sua ajuda, a sua motivação e força para que este momento chegasse e esta dissertação ficasse concluída.

À minha orientadora, Dra. Maria João Correia, pelo tema proposto e pela oportunidade de poder desenvolver este trabalho nesta instituição de renome que é o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e como não posso deixar de agradecer também toda a ajuda, orientação, dedicação, disponibilidade, partilha de conhecimento e paciência que demonstrou para comigo ao longo da elaboração desta dissertação.

À minha co-orientadora Professora Doutora Paulina Faria, enquanto docente da FCT-UNL, por me ter acolhido enquanto seu orientando, pela sua simpatia e por ter dado a conhecer a aventura que se revelou este tema.

Ao LNEC por me ter recebido na sua instituição, e a todas as pessoas que ao longo destes últimos meses fizeram parte do meu dia-a-dia nesta casa, proporcionando excelentes momentos de trabalho e de lazer. Um agradecimento especial ao Núcleo de Materiais Metálicos do Departamento de Materiais e a toda a sua equipa.

Ao Centro de Arqueologia de Lisboa, em nome do Professor António Marques, bem como à Dra. Manuela Leitão, ao Professor Rodrigo Silva, e ao Dr. Artur Rocha pelas amostras disponibilizadas, fundamentais para a realização desta dissertação e por toda a partilha de conhecimento e informação inerente à recolha das mesmas.

Agradeço igualmente ao projeto DB-HERITAGE (Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial – PTDC/EPH-PAT/4684/2014), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, no qual se insere esta dissertação.

Aos meus verdadeiros amigos, que ao longo dos anos sempre estiveram presentes, nos bons e nos maus momentos, que me agarraram, que me ouviram e que demonstraram o verdadeiro valor da amizade.

Aos meus colegas de faculdade que ao longo deste período se tornaram amigos, verdadeiros amigos e companheiros de aventuras. Agradeço-vos por todos os bons momentos que já passamos juntos e tenho a certeza que continuaremos a passar por muitos outros.

Aos meus Tios e ao meu Afilhado, pela paciência e por toda a ajuda que me deram neste período, um simples obrigado não chega.

Aos meus Avós paternos, que infelizmente não me viram concluir esta caminhada, mas que certamente estão orgulhosos por saberem vai ser concluída agora.

À minha Avó materna por me ter permitido ficar em sua casa ao longo deste período de faculdade e por toda a ajuda que me deu, foi essencial.

E por fim, aos meus Pais, a quem tenho de agradecer por me terem permitido estudar. Em especial agradeço à minha Mãe, por toda a preocupação, motivação e apoio que sempre demonstrou.

A todos, um enorme obrigado!

Resumo

Desde sempre que a utilização dos materiais ferrosos se encontra presente no quotidiano das civilizações em diversos setores.

A tecnologia atual possibilita um bom controlo de qualidade dos materiais correntes; contudo regista-se ainda algum desconhecimento das propriedades dos materiais mais antigos, particularmente dos que ainda se encontram aplicados no património construído, sendo o respetivo estudo essencial à sua conservação e restauro.

No âmbito da presente dissertação procedeu-se à caracterização química e microestrutural de materiais ferrosos antigos, pois a melhoria de conhecimento que advém da sua caracterização, a par com a sua contextualização histórica, geográfica e funcional, deverá permitir prestar apoio à otimização e gestão da sua conservação, bem como contribuir genericamente para a durabilidade e sustentabilidade da construção metálica.

Nesta dissertação foram selecionados e caracterizados componentes e artefactos metálicos ferrosos de proveniências distintas de edifícios da cidade de Lisboa, nomeadamente construídos ou intervencionados no período compreendido entre o século XVIII e o século XX. Este estudo visou a melhoria do conhecimento sobre as propriedades químicas e microestruturais destes materiais que, não só determinam as suas propriedades mecânicas, mas também a respetiva durabilidade face aos principais mecanismos de degradação.

Os resultados de caracterização denotam variabilidade devida à evolução dos processos de fabrico siderúrgicos. Em particular, as características geométricas e microestruturais das amostras avaliadas traduzem a evolução nas propriedades dos materiais ao longo do tempo, cujo conhecimento deverá ser útil à datação das intervenções em estruturas existentes ou de artefactos metálicos obtidos de escavações arqueológicas e contribuir, assim, para o estabelecimento do contexto histórico do objeto de análise, bem como apoiar os processos de tomada de decisão para a sua conservação.

Nesta dissertação foram ainda avaliados os principais mecanismos de degradação dos materiais analisados, discutiram-se as relações entre os resultados obtidos e as expectáveis propriedades mecânicas dos materiais, e efetuaram-se sugestões para desenvolvimentos futuros.

Palavras-chave: propriedade do material ferroso; caracterização química e microestrutural; conservação do património construído

Abstract

The use of ferrous materials has been present in daily life of civilizations in various sectors.

Present technology allows a good quality control of current materials, but there is still some lack of knowledge on old materials properties, particularly those still applied in the built heritage. These materials study is thus essential to their conservation.

The chemical and microstructural characterization of ancient ferrous materials was carried out in the scope of this dissertation, because the improvement of knowledge about its properties, along with its historical, geographical and functional contextualization, should support the optimization and management of the ferrous materials conservation, as well as contributing generically to the durability and sustainability of metallic construction.

Ferrous metal components and artifacts from distinct origins of buildings in the city of Lisbon, namely built or rehabilitated in the period between the 18th and the 20st century, have been selected and characterized in this dissertation. This study aimed at improving the knowledge on the chemical and microstructural properties of these materials, which not only determine their mechanical properties, but also their durability to the main degradation mechanisms.

The results of samples characterization indicate the evolution of the primary steelmaking processes. In particular, the geometric and microstructural characteristics of the evaluated samples indicate the evolution in the properties of the materials over time; this knowledge may be useful for dating the intervention actions in existing structures or the metallic artefacts obtained from archaeological excavations, contributing to the establishment of the historical context of the analysis subject as well as to support decision-making processes for their conservation.

Additionally, in this dissertation were also evaluated the main degradation mechanisms of the analyzed materials, were discussed relations between the results obtained and the expected mechanical properties of the materials and some suggestions were made for future developments.

Keywords: ferrous material property; chemical and microstructural characterization; built heritage conservation.

Índice de Texto

Resumo.....	I
Abstract	III
Índice de Texto.....	V
Índice de Figuras	IX
Índice de Tabelas.....	XIII
Lista de abreviaturas e siglas	XV
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	2
1.3 Estrutura e organização	2
2. Materiais ferrosos	5
2.1 Evolução dos processos de produção	5
2.2 Introdução à metalurgia.....	6
2.2.1 Diagrama de fases Fe-C	7
2.2.2 Cinética de transformação de fases	8
2.3 Ferro fundido	9
2.3.1 Ferro fundido branco	10
2.3.2 Ferro fundido cinzento	10
2.3.3 Ferro fundido maleável	11
2.3.4 Ferro fundido dúctil.....	12
2.4 Ferro pudelado.....	12
2.5 Aço	13
2.5.1 Aços não ligados	14
2.5.2 Aços inoxidáveis	15
2.5.3 Outros aços ligados	15
3. Mecanismos de deterioração	17
3.1 Corrosão	18

3.1.1 Conceitos básicos	18
3.1.2 Formas de corrosão e danos	19
3.1.2.1 Corrosão sob tensão.....	19
3.1.2.2 Corrosão uniforme.....	19
3.1.2.3 Corrosão por picadas	20
3.1.2.4 Corrosão intersticial.....	21
3.1.2.5 Corrosão intergranular.....	22
3.1.2.6 Corrosão com erosão	22
3.1.2.7 Corrosão seletiva	22
3.1.2.8 Fadiga corrosão	22
3.1.2.9 Corrosão galvânica	23
3.2 Fadiga.....	24
4. Campanha experimental	25
4.1 Identificação dos casos de estudo.....	25
4.1.1 Igreja de Santo António.....	25
4.1.2 Edifício sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa.....	26
4.1.3 Largo do Chafariz de Dentro.....	27
4.1.4 Palácio do Marquês de Marialva	28
4.1.5 Palácio da Rosa	28
4.1.6 Antiga fábrica de botões Schalck	29
4.2 Seleção de amostras.....	29
4.3 Preparação dos provetes	33
4.3.1 Corte	34
4.3.2 Montagem dos provetes em resina	35
4.3.3 Polimento.....	36
4.4 Procedimentos experimentais de ensaio	37
4.4.1 Análise macrográfica.....	38
4.4.2 Caracterização microestrutural	38
4.4.3 Microscopia eletrónica de varrimento	40

4.4.4 Determinação da microdureza.....	41
5. Análise de resultados.....	43
5.1 Observação visual e análise macrográfica.....	43
5.1.1 Caraterísticas geométricas.....	43
5.1.2 Estado de conservação.....	45
5.1.3 Aspetos topográficos e morfológicos	47
5.2 Caracterização microestrutural.....	49
5.2.1 Presença de escórias/ inclusões	49
5.2.2 Distribuição de escórias.....	51
5.3 Caracterização microestrutural após o ataque químico	52
5.4 Análise microscópica e espetroscópica complementar	55
5.5 Determinação da microdureza.....	59
5.6 Síntese de resultados	61
6. Conclusões	69
6.1 Considerações finais.....	69
6.2 Desenvolvimentos futuros.....	69
Referências bibliográficas	71
Anexo A – Registo fotográfico das amostras	A 1

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Evolução dos processos siderúrgicos	6
Figura 2.2 – Diagrama de fases Fe-C	7
Figura 2.3 – Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI/SAE 1080	9
Figura 2.4 – Viaduto de Xabregas	11
Figura 2.5 – Ponte D. Maria Pia	11
Figura 2.6 – Acessórios em ferro fundido maleável	12
Figura 2.7 – Torre Eiffel	13
Figura 2.8 – Ponte D. Luís I	13
Figura 2.9 – Ponte 25 de Abril	14
Figura 2.10 – Ponte Helix	15
Figura 3.1 – Perda de secção total de um componente metálico por ação da corrosão	17
Figura 3.2 – Esquema de uma célula de corrosão eletroquímica	18
Figura 3.3 – Corrosão sob tensão em elemento metálico	19
Figura 3.4 – Corrosão uniforme em elemento de guarda do real jardim botânico de Madrid	20
Figura 3.5 – Corrosão por picadas em elemento de lareira no Palácio da Rosa: a) Zona com picadas reduzidas e espaçadas e b) Zona de concentração de picadas conduzindo a um ataque generalizado nessa área	21
Figura 3.6 – Corrosão intersticial nas zonas assinaladas num elemento metálico de um varandim no Palácio da Rosa	21
Figura 3.7 – Comparação do agravamento do desempenho à fadiga de um material por ocorrência de fadiga corrosão	23
Figura 3.8 – Curvas de resistência à fadiga	24
Figura 4.1 – Igreja de Santo António	26
Figura 4.2 – Edifício sede Millennium BCP	26
Figura 4.3 – Largo do Chafariz de Dentro – Início do século XX	27
Figura 4.4 – Ruínas do Palácio Marquês de Marialva	28
Figura 4.5 – Fachada do Palácio da Rosa	29
Figura 4.6 – Grupos de pregos provenientes da igreja de Santo António com indicação das amostras selecionadas para caracterização: a) Primeiro grupo de pregos designados “sem cabeça” e amostra ISA- A1 e b) Segundo grupo de amostras geometricamente semelhantes com indicação da amostra ISA-A2..	30
Figura 4.7 – Aspetos gerais das amostras provenientes da igreja de Santo António selecionadas para estudo: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2	30
Figura 4.8 – Aspetos gerais dos conjuntos de pregos provenientes do edifício sede do Millennium BCP	31

Figura 4.9 – Aspectos gerais das amostras provenientes edifício sede do Millennium BCP selecionadas para estudo: a) Amostra B-A1; b) Amostra B-A2; c) Amostra B-A3; d) Amostra B-A7; e) Amostra B-A8	31
Figura 4.10 – Aspectos gerais da amostra recolhida em contexto de escavação arqueológica no Largo do Chafariz de Dentro caracterizada no presente estudo: a) Amostra cravada em barrote de madeira; b) Amostra LCD após extração	32
Figura 4.11 – Aspecto geral da amostra PLC recolhida em contexto de escavação arqueológica nas ruínas do Palácio Marquês de Marialva caracterizada no presente estudo	32
Figura 4.12 – Aspectos gerais das amostras provenientes do Palácio da Rosa recolhidas para estudo: a) Amostra PR-1; b) Amostra PR-2; c) Amostra PR-3; d) Amostra PR-4	32
Figura 4.13 – Proveniencia da amostra PR-4, que foi destacada de um corrimão de uma escada exterior do Palácio da Rosa	33
Figura 4.14 – Aspecto geral da amostra CG-1recolhida em contexto de escavação arqueológica na antiga fábrica de botões Schalck caracterizada no presente estudo	33
Figura 4.15 - Figura 4.15 – a) Ilustração do procedimento de corte de uma amostra com o serrote; b) Aspecto geral dos fragmentos da amostra ISA-A1, após o procedimento de corte com serrote	34
Figura 4.16 – Aspecto geral do a) Equipamento de corte de precisão <i>Struers Accutom-2</i> e b) ilustração do procedimento de corte precisão com arrefecimento com o produto corrozip	35
Figura 4.17 – Aspectos gerais do a) Equipamento <i>Struers LaboPress-1</i> e b) de alguns dos provetes após montagem em resina.....	36
Figura 4.18 – Aspecto geral do equipamento <i>Struers RotoPol-21</i>	37
Figura 4.19 – Aspecto geral do equipamento <i>Nikon-SMZ800</i>	38
Figura 4.20 – Aspecto geral do equipamento <i>Olympus PMG3</i>	39
Figura 4.21 – Solução de ataque químico – Nital 5%	40
Figura 4.22 – Aspecto geral do equipamento <i>Jeol JSM-6400</i>	40
Figura 4.23 – Aspecto geral do equipamento <i>Baltec SCD 005</i>	41
Figura 4.24 – Aspecto geral do equipamento <i>Struers Duramin</i>	42
Figura 5.1 – Aspectos de pormenor da cabeça das amostras: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A1; d) Amostra B-A2; e) Amostra B-A3; f) Amostra B-A7; g) Amostra B-A8	44
Figura 5.2 – Pormenor da cabeça das amostras: a) Amostra LCD e b) Amostra PLC	44
Figura 5.3 – Aspectos de pormenor das amostras que apresentavam uma maior gravidade de danos por corrosão: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra B-A7; c) Amostra B-A8; d) Amostra LCD; e) Amostra PLC; f) Amostra PR-4	45
Figura 5.4 – Aspectos de pormenor das amostras que apresentavam uma gravidade intermédia de danos por corrosão: a) Amostra ISA-A2; b) Amostra B-A2; c) Amostra B-A3	46
Figura 5.5 – Aspectos de pormenor das amostras que apresentavam uma menor gravidade de danos por corrosão: a) Amostra B-A1; b) Amostra PR-2	46
Figura 5.6 – Aspecto geral da fratura existente na amostra ISA-A1	47

Figura 5.7 – Aspectos de pormenor de áreas delaminadas em diferentes amostras: a) Amostra ISA-A2; b) Amostra B-A1; c) Amostra B-A8; d) Amostra PR-4	47
Figura 5.8 – Aspectos de pormenor da topografia das amostras: a) Amostra B-A1 – zona desgastada; b) Amostra B-A2 – cavidade; c) Amostra B-A8 – cavidade	48
Figura 5.9 – Amostras agrupadas de acordo com a sua morfologia e tonalidade dos produtos de deterioração: a) Grupo 1 - acastanhada; b) Grupo 2 - castanha-acinzentada; c) Grupo 3 - cinzenta	48
Figura 5.10 – Aspeto geral da amostra B-A8 assinalando a existência de escórias de grandes dimensões	49
Figura 5.11 – Aspectos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de escórias: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A2; d) Amostra B-A3; e) Amostra B-A7; f) Amostra B-A8.....	50
Figura 5.12 – Aspectos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de escórias: a) Amostra PLC; b) Amostra LCD;c) Amostra PR-1	50
Figura 5.13 – Aspectos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de inclusões: a) Amostra B-A1; b) Amostra CG-1	51
Figura 5.14 – Aspectos de pormenor mostrando a distribuição das escórias em secções de corte transversal das amostras: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A1; d) Amostra B-A2; e) Amostra B-A3; f) Amostra B-A7; g) Amostra B-A8.....	51
Figura 5.15 – Aspectos de pormenor evidenciando a distribuição de escórias das amostras: a) Amostra PLC; b) Amostra PR-1; c) Amostra LCD.....	52
Figura 5.16 – Ilustração da escala de classificação do grão	53
Figura 5.17 – Aspectos de pormenor ilustrando as diferenças microestruturais observadas na amostra B-A8: verde – matriz ferrítica numa zona central da secção; azul – ferrite com perlite	53
Figura 5.18 – Microestrutura da amostra LCD.....	54
Figura 5.19 – Microestutura da amostra PR-2.....	54
Figura 5.20 – a) Aspeto de pormenor da amostra ISA-A1 e respetivos espectros EDS: b) Espectro EDS 1; c) Espectro EDS 2	55
Figura 5.21 – Aspeto de pormenor da superfície de fratura da amostra ISA-A1 observado ao MEV	56
Figura 5.22 – Resultados da análise semi-quantitativa dos espectros 1 e 2 da amostra ISA-A1	56
Figura 5.23 – a) Aspeto de pormenor da amostra ISA-A2 observado no MEV e b) respetivo espectro EDS .	57
Figura 5.24 – a) Aspeto de pormenor da amostra B-A8 e b) exemplo de espectro obtido (na zona assinalada a verde).....	57
Figura 5.25 – a) Aspeto de pormenor da amostra PLC e respetivo b) espectro EDS.....	58
Figura 5.26 – a) Aspeto de pormenor da amostra LCD e respetivos espectros EDS: b) área assinalada a vermelho; c) área assinalada a verde	58
Figura 5.27 – a) Amostra PR-2 com identificação da zona analisada; b) Espectro EDS	59
Figura 5.28 – Polígono formado pela indentação da amostra ISA-A1 no ensaio de microdureza	59

Figura 5.29 – Resultados de microdureza (HV) medida na secção longitudinal na amostra B-A3 em diferentes áreas: 1 – fase perlítica; 2 – fase ferrítica	60
Figura 5.30 - – Resultados de microdureza (HV) medida na secção transversal na amostra B-A3 em diferentes áreas: 1 – fase perlítica; 2 – fase ferrítica	60

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 – Resumo de resultados das microdurezas	61
Tabela 5.2 – Resumo de informações relevantes a par com os resultados obtidos e hipóteses decorrentes da sua análise	63

Lista de abreviaturas e siglas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BCP – Banco Comercial Português

CAL – Centro de Arqueologia de Lisboa

CEN – *Comité Européenne de Normalisation*

CML – Câmara Municipal de Lisboa

DGPC – Direção Geral do Património Cultural

EDS – *Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy*

EN – *European Norm*

HV – *Vickers hardness*

IPA – Inventário do Património Arquitetónico

ISO – International Organization for Standardization

LNec – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MEV – Microscópio Eletrónico de Varrimento

NP – Norma Portuguesa

IPQ – Instituto Português da Qualidade

Identificação de casos de estudo

ISA-A1 – Amostra Igreja de Santo António 1

ISA-A2 – Amostra Igreja de Santo António 2

B-A1 – Amostra Banco Millennium BCP 1

B-A2 – Amostra Banco Millennium BCP 2

B-A3 – Amostra Banco Millennium BCP 3

B-A7 – Amostra Banco Millennium BCP 7

B-A8 – Amostra Banco Millennium BCP 8

LCD – Amostra Largo do Chafariz de Dentro

PLC – Amostra Palácio Largo Camões

PR-1 – Amostra Palácio da Rosa 1

PR-2 – Amostra Palácio da Rosa 2

PR-3 – Amostra Palácio da Rosa 3

PR-4 – Amostra Palácio da Rosa 4

CG-1 – Amostra Calçada do Gascão 1

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Este trabalho visa contribuir para o conhecimento da evolução dos materiais ferrosos utilizados na construção ao longo dos séculos, e em particular dos que se encontram ainda em utilização no património construído, dando-se, portanto, especial enfoque ao período compreendido entre o século XVIII e o século XX. A evolução deste tipo de materiais não foi linear e encontra-se associada ao progressivo desenvolvimento tecnológico, à perda de costumes e aquisição de novas competências, que permitiram aperfeiçoar os materiais ferrosos e então contribuir para a melhoria do seu desempenho.

A necessidade de conhecimento sobre o estado de conservação dos elementos metálicos, e sobre a forma como estes se degradam é uma temática cada vez mais valorizada. O aumento do número de reabilitações e a falta de informação sobre o estado de conservação dos elementos metálicos, que pode levar inclusive à sua reutilização e consequente melhoria de sustentabilidade, justificam o investimento no desenvolvimento de conhecimentos nesta área.

O estudo e o conhecimento dos materiais ferrosos antigos são também particularmente importantes por serem essenciais aos modelos de previsão de desempenho desses materiais nas diferentes funções e condições previstas para a sua utilização, bem como para apoiar e fundamentar os processos de decisão para a definição de intervenções de conservação e reabilitação do património construído que envolvem a sua compatibilização com outros materiais.

No âmbito da presente dissertação procedeu-se à caracterização química e microestrutural de componentes de construção ferrosos, visando a melhoria de conhecimento das propriedades destes materiais. Com base na melhoria de conhecimento neste domínio e integrando a respetiva contextualização histórica, geográfica e funcional, deverá ser possível prestar apoio à otimização e gestão da conservação do património, bem como contribuir genericamente para a durabilidade e sustentabilidade da construção metálica.

Esta dissertação de mestrado foi realizada no âmbito do projeto DB-HERITAGE (Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial – PTDC/EPH-PAT/4684/2014), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, que baseia a sua estratégia na preservação e disponibilização da informação relativa às características dos materiais históricos e medidas de intervenção para a sua conservação. O inerente estudo e respetivos procedimentos experimentais foram realizados durante um período de acolhimento no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

1.2 Objetivos e metodologia

O principal objetivo deste estudo é contribuir para o aumento do conhecimento sobre as propriedades químicas e microestruturais dos materiais ferrosos utilizados no património arquitetónico antigo, bem como sobre o respetivo estado de conservação. Este conhecimento é correlacionável com as expectáveis propriedades mecânicas dos materiais, bem como com as respetivas implicações da sua utilização especialmente relevantes à construção. Atendendo à falta de informação sobre as causas que estão na origem do bom desempenho de materiais ferrosos antigos, é também objetivo deste trabalho identificar e caracterizar as principais formas de degradação destes materiais, bem como de que forma os danos produzidos podem influenciar o seu desempenho.

A viabilidade de se datarem intervenções no património através de componentes de construção ferrosos no património construído foi também um objetivo da presente dissertação face à oportunidade de se estudarem pregos antigos, recolhidos em diferentes contextos, que constituíram os principais objetos de estudo.

1.3 Estrutura e organização

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo que implicitamente contém três partes fundamentais, nomeadamente os conhecimentos teóricos, a parte experimental, integrando os resultados e respetiva discussão, e as considerações finais.

No presente capítulo (1) enquadra-se o desenvolvimento do tema, enunciando-se os respetivos objetivos e indicando-se as metodologias utilizadas, bem como a estrutura organizacional desta dissertação.

Nos dois capítulos seguintes (2 e 3), apresenta-se uma revisão ao estado do conhecimento na área de estudo dos materiais ferrosos utilizados na construção antiga. No capítulo 2 são descritos de forma sucinta os conceitos fundamentais associados às características dos materiais ferrosos e a respetiva evolução. O capítulo 3 abrange uma síntese dos principais mecanismos de degradação destes materiais, sendo enunciadas as principais formas de corrosão.

O capítulo 4, referente à campanha experimental, encontra-se subdividido em 4 subcapítulos:

- O primeiro subcapítulo, 4.1 Identificação dos casos de estudo, faculta a identificação e uma breve descrição dos edifícios alvo de estudo neste trabalho.
- O segundo subcapítulo, 4.2 Seleção de amostras, inclui referência a todas as amostras recolhidas, identificando as que foram objeto de estudo e enunciando os critérios de base à respetiva escolha.
- O terceiro subcapítulo, 4.3 Preparação dos provetes, descreve os procedimentos de preparação das amostras e dos respetivos provetes para sequente análise.
- No quarto e último subcapítulo, 4.4 Procedimentos experimentais, são enunciados os procedimentos experimentais de cada método de ensaio.

No capítulo 5 são apresentados e interpretados todos os resultados obtidos durante a realização da campanha experimental, sendo efetuada a sua discussão, fundamentada também na análise da literatura.

No capítulo 6 apresentam-se de modo sumário as principais conclusões decorrentes do desenvolvimento da presente dissertação, finalizando-se com sugestões para trabalhos futuros.

Complementa-se esta dissertação com a apresentação das referências bibliográficas relevantes para a execução deste trabalho.

Adicionalmente, apresenta-se em anexo o registo fotográfico das observações visuais, macrográficas e registos de caracterização microestrutural das diferentes amostras analisadas.

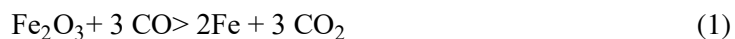
2. Materiais ferrosos

2.1 Evolução dos processos de produção

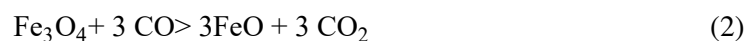
Os materiais ferrosos, tal como o próprio nome indica, são maioritariamente constituídos por ferro. Estes materiais têm sido fruto de uma significativa evolução ao longo da história. O processamento do minério de ferro teve um forte desenvolvimento no Oriente, nomeadamente em países como a China e a Índia há quatro ou cinco mil anos atrás (Nilce Ortiz, 2000).

O minério de ferro, vulgarmente sob a forma de hematite (Fe_2O_3) ou magnetite (Fe_3O_4), é extraído das minas e processado através da sua fundição. De uma forma simples, é possível perceber que durante o processo de fundição, o oxigénio presente na hematite ou magnetite é extraído através de uma reação de redução. Inicialmente, eram utilizados como combustíveis materiais como o carvão, a madeira ou a turfa, mas atualmente recorre-se essencialmente ao processo de obtenção de ferro a partir do minério pelo método do alto-forno, sendo utilizado carvão (Mitchell, 2017). Atualmente o ferro é produzido também em forno elétrico especialmente na sua reciclagem.

No caso da hematite, a reação química (1) dá origem ao ferro.



Já no caso da magnetite, a sua reação de redução (2) permite obter óxido de ferro, que será sequentemente reduzido originando o ferro (3)



No Ocidente, a evolução no processamento do minério do ferro ocorre de forma mais significativa a partir do século XIV no norte da Europa. No entanto, só no início do século XVIII, pelas mãos de Abraham Darby I, surge o ferro fundido. O ferro fundido apresenta como uma das suas principais características a boa resistência à compressão (Mitchell, 2017).

Mais tarde, em 1784, Henry Cort desenvolveu um novo processo de trabalhar o ferro, por pudelagem, dando origem ao ferro pudelado também designado de ferro forjado (Perneta et al., 2010). Esta técnica consiste essencialmente em martelar e rolar alternadamente o elemento metálico a ser produzido. Uma das principais características do ferro forjado é a sua boa resistência à tração, que lhe permitiu vir a ser um importante material utilizado com fins estruturais (Correia et al., 2012a).

Por sua vez, o aço, ainda que de uma forma bastante diferente da que se conhece hoje em dia, surgiu no final da década de 1850 pelas mãos de Henry Bessemer, que desenvolveu uma técnica que envolvia a

passagem de ar pelo ferro fundido e permitia deste modo a sua oxidação e, consequentemente, a redução do seu teor de carbono (Mitchell, 2017). Sidney Thomas, Karl Siemens e os irmãos Martin, no final do século XIX aprofundaram as técnicas de produção de aço, tendo desta forma sido produzido aço mais limpo, em maior quantidade e com características consideravelmente superiores. Estes progressos cuja evolução temporal pode ser observada na Figura 2.1, coincidiram com a expansão dos caminhos-de-ferro na Europa, bem como com a utilização do aço como elemento estrutural em pontes (Correia et al., 2012a).

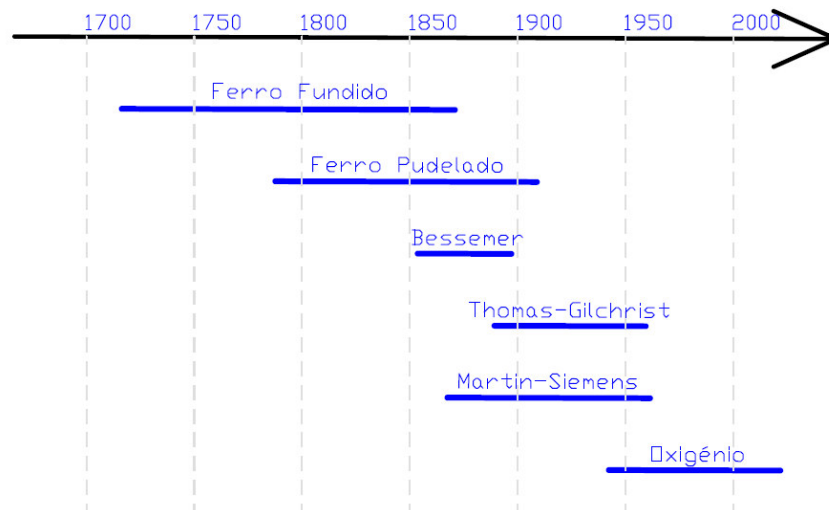


Figura 2.1 – Evolução dos processos siderúrgicos (adaptado de Perneta, 2010)

É importante referir que as ligas de ferro, conforme se conhecem atualmente, são classificadas de acordo com o seu teor em carbono em ferro fundido ($\%C > 2\%$), ferro pudelado ($\%C < 0,08\%$) e aço ($\%C < 2\%$). A evolução dos processos siderúrgicos permite atualmente a produção destes materiais com características adequadas às elevadas exigências requeridas aos produtos da indústria da construção (Correia & Baptista, 2015).

2.2 Introdução à metalurgia

A metalurgia é a ciência que estuda os metais desde a sua extração do subsolo até à sua transformação em produtos de uso corrente. Nesse sentido, aponta um conjunto de procedimentos e técnicas para a extração, fabrico e tratamento dos metais. Para compreender corretamente o conceito de metalurgia das ligas ferrosas, torna-se fundamental introduzir brevemente o diagrama de fases Fe-C e a cinética de transformação de fases.

2.2.1 Diagrama de fases Fe-C

Para apoio à caracterização dos materiais ferrosos é imprescindível a análise do diagrama de fases Fe-C, Figura 2.2, no qual são expressas as condições de equilíbrio ou quase-equilíbrio que, contudo, raramente são alcançadas no processo industrial. Este diagrama contém apenas as fases previsíveis até uma percentagem de carbono máxima de 6,7%, uma vez que acima desse valor não existem fases consideradas relevantes (Bramfitt & Benschoter, 2002).

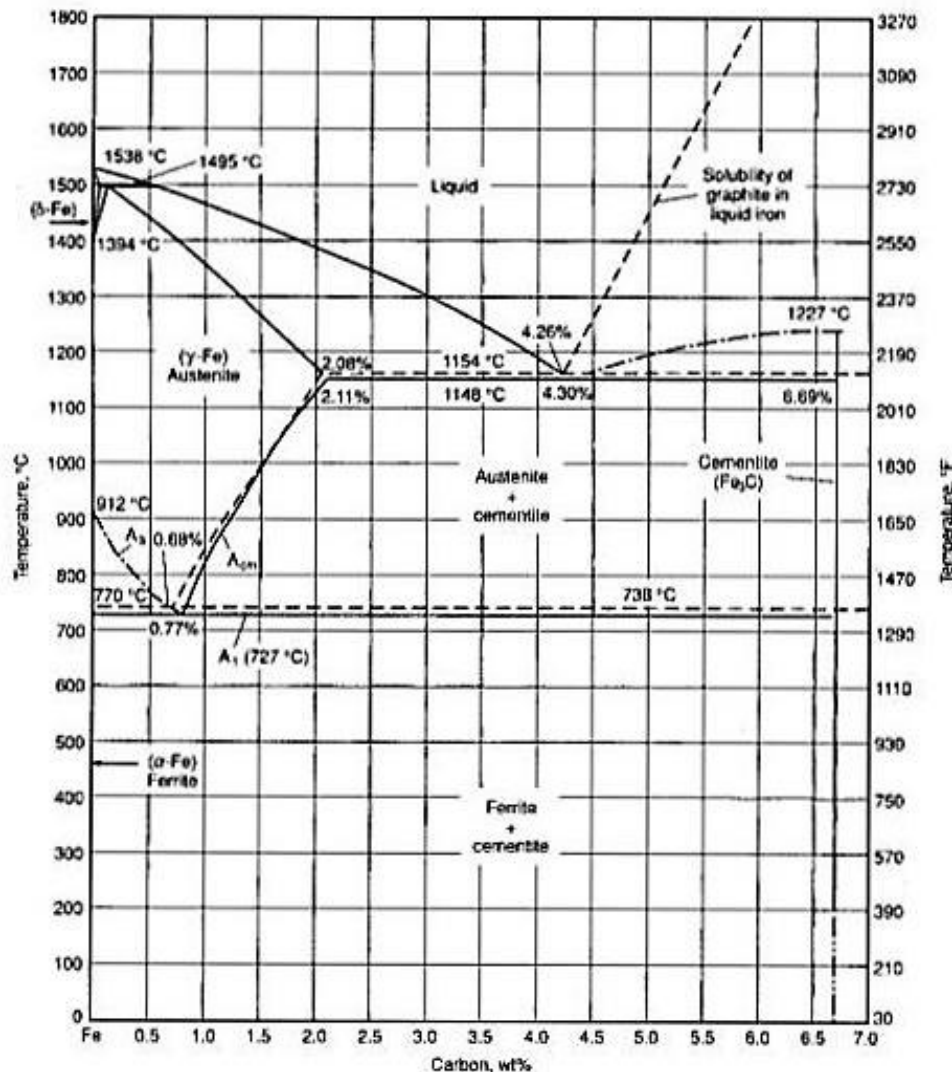


Figura 2.2 – Diagrama de fases Fe-C (Bramfitt & Benschoter, 2002)

O diagrama de fases Fe-C permite compreender a origem da microestrutura. Com o arrefecimento do ferro, com ou sem carbono adicionado, a partir do estado líquido, regista-se a uma determinada temperatura (dependendo da composição) o início da cristalização e seguintes transformações alotrópicas no estado sólido.

A cristalização do ferro, que envolve o arranjo dos átomos em locais numa configuração geométrica precisa (célula unitária), ocorre primariamente em duas formas distintas γ -Fe e α -Fe, ou seja, estruturas cristalinas cúbica de faces centradas (FCC) e cúbica de corpo centrado (BCC). Estas diferentes formas são designadas por austenite e ferrite, respetivamente. Para além destas fases, o ferro e as suas ligas apresentam como microconstituintes também a cementite (Fe_3C), a martensite (tetragonal de corpo centrado), a perlite e a bainite, entre outras.

O diagrama de fases traduz uma condição de equilíbrio; contudo a transformação de fases está dependente da cinética de transformação, ou seja, é determinada na prática pela velocidade do arrefecimento.

2.2.2 Cinética de transformação de fases

A velocidade de arrefecimento é uma característica fundamental na transformação do material ferroso a partir da austenite, pelo que irá influenciar naturalmente a formação das diferentes fases suas constituintes tais como a ferrite, a cementite e a perlite.

A variação da velocidade de arrefecimento, tal como exemplificado na Figura 2.3, terá como consequência o estabelecimento das características microestruturais dos aços, ou seja, a formação das diferentes fases envolve o rearranjo atómico que será função da velocidade de arrefecimento e, como consequência, pode fazer variar a relação existente entre fases, ou mesmo excluir a formação de algum dos seus constituintes (Chiaverini, 2005).

A química, as fases e as respetivas características, tais como tamanho de grão, e distribuição e razão entre fases, determinam assim as propriedades dum material que é atualmente produzido. Este conhecimento permite otimizar as suas propriedades do material para a prevista função, ou seja, controlando a sua composição e submetendo-o a diferentes tratamentos térmicos e mecânicos. Por exemplo, na produção do aço podem ser utilizados vários mecanismos de endurecimento, para a obtenção de uma maior resistência, tais como, precipitação, refinamento de grão, solução sólida e deformação a frio.

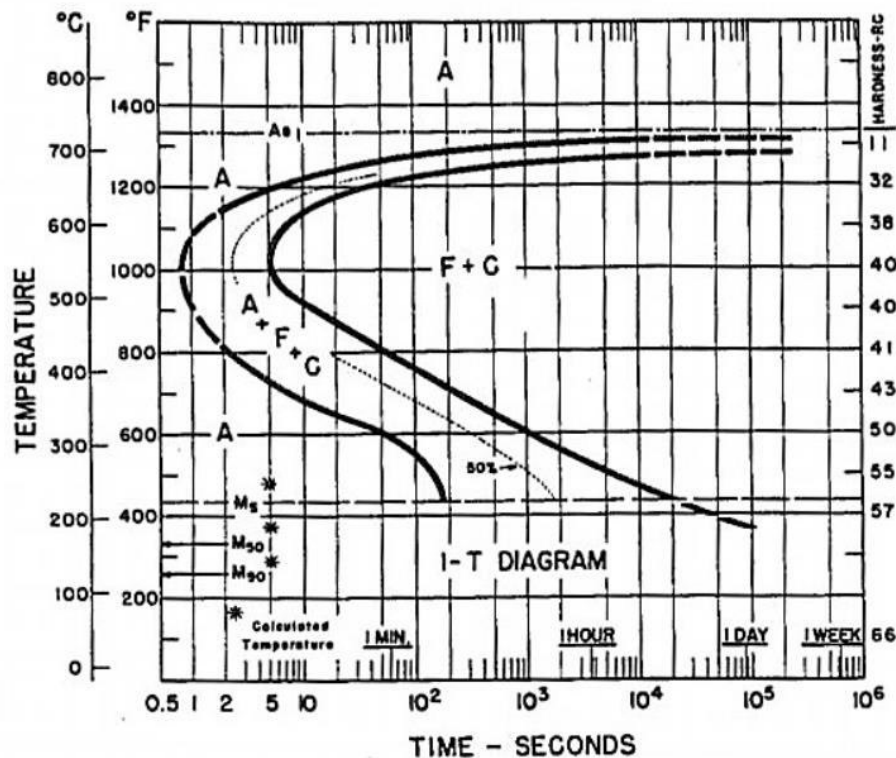


Figura 2.3 – Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI/SAE 1080 (Bramfitt & Benscoter, 2002)

2.3 Ferro fundido

O ferro fundido, que teve um grande desenvolvimento no início do século XVIII com Abraham Darby I, é uma liga que contém essencialmente ferro e carbono na sua constituição, sendo que o seu teor de carbono é geralmente superior a 1,7%. Inclui ainda outros elementos como o silício, manganês, fósforo e enxofre, sendo os últimos dois considerados impurezas (Correia et al., 2012a).

A análise microestrutural ao ferro fundido permite identificar as suas principais fases constituintes, incluindo grafite (carbono), ferrite, cementite e perlite, que influenciam especialmente a sua ductilidade, dureza e resistência (Correia et al., 2012a).

A ferrite, cuja formação é favorecida por agentes de grafitação e por uma lenta velocidade de arrefecimento, promove a baixa resistência à tração e alta ductilidade do material. A cementite confere a dureza, mas também fragilidade. Ao contrário da ferrite, a sua formação é promovida por elevadas velocidades de arrefecimento. A perlite, que faz variar as propriedades dos materiais em função do espaçamento existente entre as lamelas de ferrite e de cementite que a constituem, é menos dúctil, mas apresenta uma maior resistência à tração comparativamente com a ferrite. A velocidade de arrefecimento é

uma das principais variáveis a controlar no processo de solidificação do ferro fundido, pois irá influenciar a sua microestrutura (Correia et al., 2012a).

A classificação do ferro fundido é normalmente estabelecida em função da sua composição química, da sua microestrutura, ou características de fratura sendo usual a utilização das seguintes designações: ferro fundido branco, ferro fundido cinzento, ferro fundido maleável e ferro fundido dúctil (Davis, 2003).

2.3.1 Ferro fundido branco

O ferro fundido branco apresenta praticamente a totalidade do seu carbono na forma de cementite Fe_3C . Este facto faz com que este apresente uma elevada dureza e resistência ao desgaste, contudo a sua ductilidade é relativamente baixa.

A sua produção baseia-se no controlo da velocidade de arrefecimento e da concentração de silício. O material no seu estado líquido é vazado em moldes metálicos com uma velocidade de arrefecimento adequada para a formação preferencial da cementite. A profundidade destes moldes varia em função do teor de silício, das suas características, tais como a espessura, e das condições externas, incluindo a temperatura a que o molde se encontra (Vidal, 2013).

Os ferros fundidos brancos são frequentemente utilizados em máquinas de construção civil e agrícolas (Gonçalves de Brito & Gordo, 2003).

2.3.2 Ferro fundido cinzento

O ferro fundido cinzento apresenta na sua constituição a grafite sob a forma lamelar, em resultado do seu processo de fundição (Guesser, 2009).

As propriedades físicas e mecânicas deste material são diretamente afetadas pela quantidade e características da grafite que o constitui (Goodrich, 2003).

Os ferros fundidos cinzentos são elementos com uma ductilidade muito baixa e caracterizam-se por apresentarem uma resistência à compressão consideravelmente superior à resistência à tração (três a quatro vezes mais elevada).

Este material começou a ser mais utilizado como material de construção em elementos estruturais a partir do século XIX (Correia et al., 2012a). A primeira estrutura em Portugal a ser construída com recurso ao ferro fundido foi o viaduto de Xabregas, Figura 2.4. Este viaduto foi, entretanto, alvo de reabilitação.



Figura 2.4 – Viaduto de Xabregas (Perneta, 2010)

Atualmente existe um monumento importante que reflete a utilização deste material como elemento estrutural: a ponte D. Maria Pia, Figura 2.5, construída no Porto em 1877.



Figura 2.5 – Ponte D. Maria Pia (Structurae, 2019b)

2.3.3 Ferro fundido maleável

Os ferros fundidos maleáveis surgiram da necessidade de se obter um material com valores de ductilidade consideravelmente melhores quando comparados com o ferro fundido cinzento e branco. Assim, este novo material foi obtido através de um tratamento térmico chamado de maleabilização, que consiste no aquecimento prolongado dos ferros fundidos brancos com composições bem definidas.

O referido processo, sob condições previamente definidas, tem como principal objetivo a transformação em grafite de parte ou da totalidade do carbono que se encontra inicialmente na forma de cementite e perlite (Vidal, 2013).

Este tipo de material é utilizado em diferentes ramos da indústria, tais como na construção de equipamentos navais ou ferroviários (ASTM, 1984), bem como em acessórios de tubagens e peças de válvulas, conforme se ilustra na Figura 2.6 (ASTM, 2015a).



Figura 2.6 – Acessórios em ferro fundido maleável (Quality, 2010)

2.3.4 Ferro fundido dúctil

O ferro fundido dúctil pode também ser designado por nodular pois apresenta como sua principal característica a forma esférica da grafite. Esta forma não interrompe a continuidade da matriz, ao contrário do que sucede quando a grafite está presente na forma lamelar, pelo que a ductilidade é claramente melhorada (Chiaverini, 2005).

Este material apresenta como características principais uma boa resistência ao desgaste, um elevado módulo de elasticidade e elevada resistência à fadiga. É também melhor a sua resistência ao choque e aos esforços estáticos quando comparado com o ferro fundido cinzento (Quality, 2010).

2.4 Ferro pudelado

O ferro pudelado ou ferro forjado, obtido através do processo de pudelagem, apresenta como principal e determinante característica um baixo teor de carbono, normalmente inferior a 0,08% (Patrício, 2011). Revela também na sua constituição um teor de escórias geralmente variável de 1% a 3% na sua matriz metálica. Estas escórias consistem principalmente em silicatos e óxidos de ferro que se distribuem de forma díspar e alongada na direção da laminagem, concedendo-lhe uma anisotropia que naturalmente influenciará as suas propriedades físicas e mecânicas (Correia et al., 2012a).

A composição química e as características microestruturais do ferro pudelado são responsáveis pela sua resistência, maleabilidade e a trabalhabilidade, bem como pela resistência à corrosão e à fadiga que são diretamente influenciadas pela presença das escórias (Correia et al., 2012a).

Este material é heterogêneo, devido às particularidades do seu processo de fabrico. Deste modo, e em função da quantidade de escórias, normalmente não é aconselhável a sua soldadura ou a utilização de qualquer outro processamento térmico (Cremona et al., 2007).

Existem atualmente imponentes estruturas construídas com recurso a este material, entre as quais se pode destacar a Torre Eiffel, Figura 2.7, e a ponte D. Luís I, Figura 2.8.

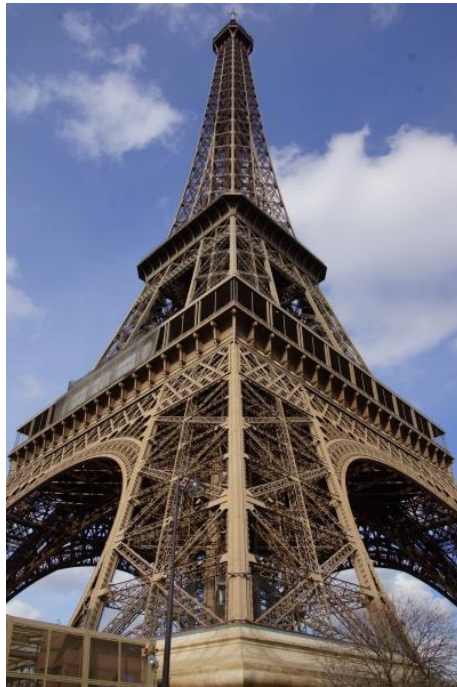


Figura 2.7 – Torre Eiffel (Structurae, 2019a)



Figura 2.8 – Ponte D. Luís I

2.5 Aço

O aço começou a ser produzido no século XIX, pelas mãos de Henry Bessemer, que patenteou a sua descoberta em 1855. Esta técnica consistia na passagem de ar pelo ferro fundido permitindo assim a sua oxidação e a respetiva redução do teor de carbono (Mitchell, 2017).

Atualmente, o aço é considerado uma liga ferrocarbônica formada a partir de minérios de ferro, cujos principais componentes são o ferro e o carbono. No entanto, convém realçar que o aço tem outros elementos constituintes, dos quais se destacam o manganês, o silício, o fósforo e o enxofre, entre outros que, sendo adicionados em percentagens bem definidas, lhe conferem melhores características (Simões, 2014). A estrutura e as propriedades dos aços dependem diretamente do teor de carbono, bem como da presença dos elementos de liga.

O aço destaca-se como sendo o material que contém em massa mais ferro do que qualquer outro material e que apresenta geralmente um teor de carbono inferior a 2%. É esta particularidade que faz diferir um aço de um ferro fundido (IPQ, 2002). A utilização deste material é visível em importantes obras de engenharia em Portugal, tal como a ponte Salazar, inaugurada em 1966 (Figura 2.9), mais tarde rebatizada de ponte 25 de Abril (DGPC, 2016).

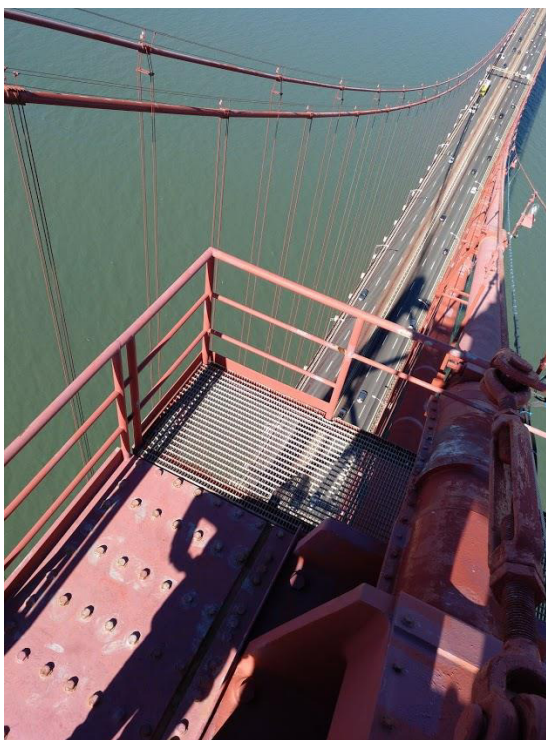


Figura 2.9 – Ponte 25 de Abril

De acordo com a NP EN 10020 (IPQ, 2002) os aços podem ser classificados em aços não ligados, aços inoxidáveis e em outros aços ligados.

2.5.1 Aços não ligados

Designam-se por aços não ligados, os aços que devem as suas propriedades essencialmente ao teor de carbono que os constitui. São considerados aços não ligados todos aqueles em que nenhum dos seus elementos constituintes atinge os teores limite estabelecidos na norma NP EN 10020 (IPQ, 2002). Deste

modo na sua composição química constam predominantemente o ferro e o carbono, além do manganês, silício, fósforo e enxofre entre outros.

2.5.2 Aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são especialmente considerados em aplicações de engenharia, principalmente devido à sua excelente resistência à corrosão quando expostos aos mais diversos ambientes. Esta resistência à corrosão deve-se, principalmente, à presença de um elevado teor em crómio.

De acordo com a normalização vigente, aqueles que compreendem na sua constituição pelo menos 10,5% de crómio e que, no máximo, atingem os 1,2% de carbono são considerados como aços inoxidáveis (IPQ, 2002). De uma forma geral, a presença do crómio promove a formação um filme de passivação, que protege a liga metálica (Smith, 1998).

Atualmente existem estruturas construídas com recurso a este material, Figura 2.10, como é o caso da ponte Helix construída em 2010 em Singapura.

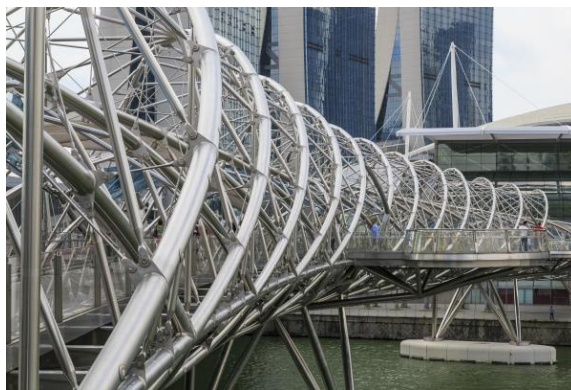


Figura 2.10 – Ponte Helix (Structurae, 2019c)

2.5.3 Outros aços ligados

Consideram-se como outros aços ligados, todos os aços que não sendo aços inoxidáveis, atingem pelo menos um dos valores limite de teores dos elementos definidos na norma NP 10020 (IPQ, 2002). Estes aços são fabricados quase em exclusividade no forno Martin e elétrico por processos similares aos dos aços não ligados. No entanto, no final do seu processo de fabrico é adicionado o elemento de liga, que lhes confere uma melhoria das suas propriedades, em particular nas suas características mecânicas (Brito & Gordo, 2003).

3. Mecanismos de deterioração

A deterioração pode prejudicar o desempenho dos componentes metálicos e, em alguns casos, levar inclusive à rotura do elemento, Figura 3.1, afetando assim a segurança das estruturas. O conhecimento dos processos e mecanismos de deterioração, bem como das respetivas causas e efeitos, são fundamentais para o bom desempenho e durabilidade das estruturas no decorrer da sua vida útil (Correia et al., 2012b).



Figura 3.1 – Perda de secção total de um componente metálico por ação da corrosão

Os principais processos de deterioração dos materiais podem ser classificados como químicos, biológicos e físicos, ou ainda ser resultantes de processos de dano por ações inadvertidas (Perneta, 2010), tais como acidentes, vandalismo e outras que podem danificar as estruturas.

Os principais mecanismos de deterioração das estruturas metálicas são a fadiga e a corrosão, isto excluindo as ações acidentais e as sobrecargas. Assim, a preocupação com o conhecimento destes mecanismos é necessariamente relevante. Naturalmente, o impacto socioeconómico associado aos danos de uma estrutura metálica pode ser elevadíssimo, pelo que se torna absolutamente necessário adotar medidas preventivas e de proteção para mitigar estes fenómenos e reduzir as suas consequências. Assim, quanto mais aprofundado for o conhecimento nesta área, maior será a capacidade de antevisão e de prevenção dos problemas associados. É importante ter em conta as principais formas de manifestação, a respetiva gravidade e as suas prováveis causas, bem como os métodos para a respetiva prevenção (Correia et al., 2012b).

3.1 Corrosão

3.1.1 Conceitos básicos

Do ponto de vista da engenharia civil, a corrosão pode representar enormes perdas económicas (Smith, 1998). A corrosão é um fenómeno de deterioração espontânea dos metais que se encontram expostos às mais variadas condições ambientais, ou seja, corresponde a tornarem-se termodinamicamente estáveis e semelhantes ao estado em que são encontrados na natureza (Correia et al., 2012b). Assim, a prevenção e proteção contra a corrosão é essencial para que as estruturas metálicas apresentem um desempenho adequado durante a sua vida útil (Correia et al., 2011).

Grande parte das reações de corrosão são de natureza eletroquímica, ou seja, desenvolvem-se com a formação de células de corrosão. Estas células compreendem um ânodo, um cátodo e um eletrólito que fornecem a corrente e o fluxo iónico, esquematizados na Figura 3.2, que alimentam o desenvolvimento do processo de corrosão.

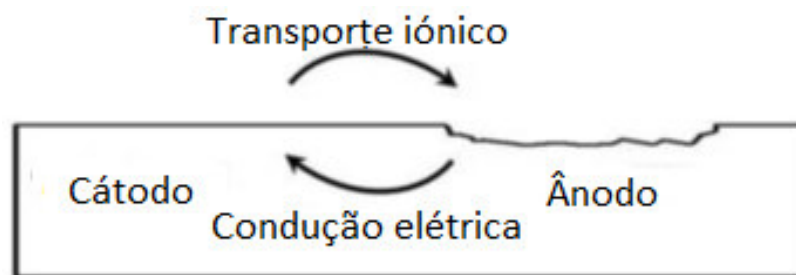


Figura 3.2 – Esquema de uma célula de corrosão eletroquímica (adaptado de Correia et al., 2012b)

A velocidade à qual a corrosão se processa depende da temperatura e da concentração iónica, sendo também afetada por outros fatores externos como, por exemplo, os esforços mecânicos e a erosão (Smith, 1998).

Segundo Smith (1998), existem diferentes formas de manifestação da corrosão, incluindo corrosão uniforme e as diferentes formas de corrosão localizada. As diferentes formas de corrosão são passíveis de serem observadas macroscopicamente ou microscopicamente. Macroscopicamente podem ser detetadas a corrosão com erosão, corrosão por picadas, corrosão intersticial entre outras. A corrosão intergranular e a corrosão sob tensão podem ser evidenciadas na análise macroscópica, no entanto a confirmação é normalmente efetuada por métodos microscópicos (Davis, 2003).

Durante o processo de corrosão os sistemas não estão em equilíbrio e por essa razão os potenciais termodinâmicos não fornecem qualquer indicação sobre a velocidade das reações de corrosão (Smith, 1998).

Durante a corrosão, a cinética é complexa, mas a velocidade de corrosão é controlada naturalmente pela velocidade da reação mais lenta (Correia et al., 2012b).

É essencial o conhecimento das características de corrosividade do ambiente de exposição, uma vez que terá uma influência considerável na velocidade de corrosão dos elementos metálicos. De acordo com a EN ISO 9223:2012 (ISO, 2012) é possível classificar os diferentes tipos de atmosfera onde o material se encontra em 6 categorias de corrosividade nomeadamente C1 (muito baixa), C2 (baixa), C3 (média), C4 (alta), C5 (muito alta) e CX (extrema). Na água e no solo as categorias de corrosividade aplicáveis são Im1 (água doce), Im2 (água do mar ou salobra sem proteção catódica), Im3 (solo), Im4 (água do mar ou salobra com proteção catódica).

3.1.2 Formas de corrosão e danos

3.1.2.1 Corrosão sob tensão

Este processo de deterioração é caracterizado por consistir na ação conjunta da corrosão e de tensões mecânicas num material suscetível ao fenómeno de corrosão sob tensão (Correia, 2009).

A corrosão sob tensão é particularmente importante pois a quebra do elemento metálico ocorre em condições de serviço, muitas vezes sem aviso prévio, podendo originar falhas catastróficas (Davis, 2003).

A condição metalúrgica que suscita a corrosão sob tensão é influenciada pelo nível de resistência do elemento metálico, bem como pela composição química, tamanho e orientação de fases na matriz metálica. A fronteira, a orientação dos grãos e o seu limite e a segregação, juntamente com as tensões residuais, são outros dos fatores que originam esta forma de corrosão (Davis, 2003).

Na Figura 3.3 é possível observar um exemplo deste tipo de degradação.

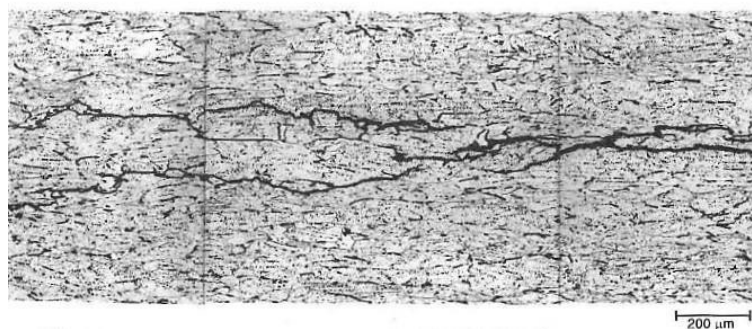


Figura 3.3 – Corrosão sob tensão em elemento metálico (Davis, 2003)

3.1.2.2 Corrosão uniforme

A corrosão uniforme ou corrosão por ataque generalizado é desenrolada de modo uniforme por toda a superfície do metal, Figura 3.4, que se encontra exposta ao ambiente corrosivo. Este tipo de corrosão representa a principal forma de destruição de metais (Smith, 1998).

Este ataque generalizado resulta das reações anódicas e catódicas ocorrerem em simultâneo em toda a superfície metálica. Esta forma de corrosão não é de grande preocupação do ponto de vista técnico, uma vez que pode ser facilmente solucionada através da aplicação de um adequado sistema de proteção corrosivo (Davis, 2003), para além de ser possível projetar inicialmente uma espessura sacrificial adicional, prevista para o tempo de vida útil da estrutura.



Figura 3.4 – Corrosão uniforme em elemento de guarda do real jardim botânico de Madrid

3.1.2.3 Corrosão por picadas

A corrosão por picadas é uma manifestação localizada de um ataque corrosivo, dando origem a pequenas cavidades na superfície metálica. Estas picadas, extremamente reduzidas, podem variar muito em número e em profundidade, encontrando-se muitas vezes cobertas à superfície pelos produtos de corrosão. Assim o grau de deterioração causado por esta forma de corrosão pode ser extremamente difícil de detetar (Smith, 1998). Deste modo, torna-se uma das mais perigosas formas de manifestação da corrosão, uma vez que pode penetrar no elemento metálico muito rapidamente, podendo levá-lo à rotura sem aviso prévio (Correia et al., 2012b).

Esta forma de corrosão pode ser muito destrutiva, caso conduza à perfuração do elemento. No entanto, desde que não ocorra a perfuração do componente metálico aceita-se que possa ocorrer a corrosão por picadas em equipamentos de engenharia (Smith, 1998).

Esta forma de corrosão ocorre normalmente em ligas de aço inoxidável uma vez que é muito característica de materiais metálicos passivos (Correia, 2009). Também pode ocorrer em zonas dos metais cujo sistema de proteção esteja degradado Figura 3.5.

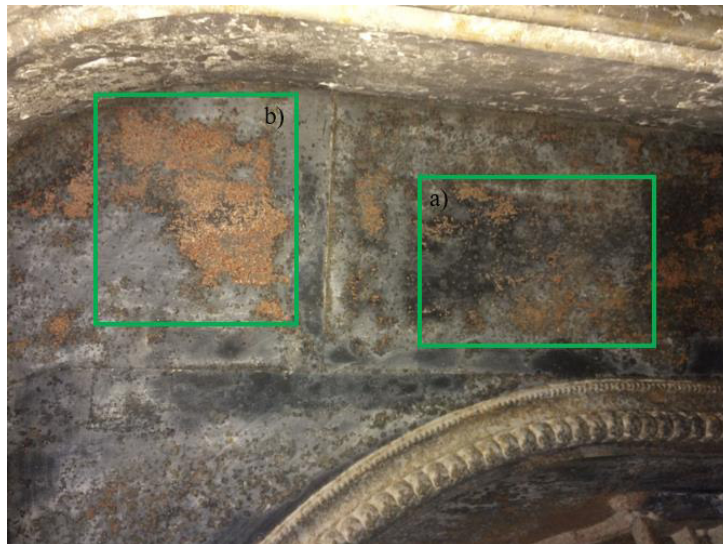


Figura 3.5 – Corrosão por picadas em elemento de lareira no Palácio da Rosa: a) Zona com picadas reduzidas e espaçadas e b) Zona de concentração de picadas conduzindo a um ataque generalizado nessa área

3.1.2.4 Corrosão intersticial

Esta forma localizada de deterioração ocorre especialmente no interior de interstícios (Smith, 1998). Os interstícios podem ser produzidos na pormenorização da peça metálica, resultante do projeto, ou acidentalmente. Consequentes dos detalhes do projeto podem surgir em juntas, banzos e ligações aparafusadas e rebitadas (Davis, 2003), devendo ser dada especial atenção à pormenorização por forma a minimizar as áreas passíveis de formarem um ambiente corrosivo diferencial que suscite este fenómeno (Correia et al., 2012b).

A Figura 3.6 demonstra um caso prático da presença de corrosão intersticial num elemento metálico de guarda-corpos de uma varanda.



Figura 3.6 – Corrosão intersticial nas zonas assinaladas num elemento metálico de um varandim no Palácio da Rosa

3.1.2.5 Corrosão intergranular

A corrosão intergranular consiste num ataque corrosivo localizado na fronteira dos grãos ou nas regiões adjacentes a estes, sendo normalmente causada por diferenças de potencial entre a matriz metálica e precipitados, fases intermetálicas ou inclusões (Correia et al., 2012b).

Esta forma de corrosão normalmente ocorre em materiais sensibilizados, ou seja, em resultado da exposição do metal a temperaturas elevadas, tanto no processo fabríco como durante a soldadura (Davis, 2003). Em condições normais, os limites dos grãos são ligeiramente mais reativos do que os grãos, especialmente quando o elemento metálico se encontra sensibilizado. Consequentemente, existe o risco de perda de resistência mecânica podendo originar a desintegração do metal (Smith, 1998).

De modo a que se consiga prevenir a corrosão intergranular, as diferenças de potencial devem ser minimizadas e o tratamento térmico que seja aplicado ao material deverá ser adequado para prevenir a sensibilização (Correia et al., 2012b).

3.1.2.6 Corrosão com erosão

Corrosão com erosão consiste no aumento da velocidade de deterioração do metal, por ação do desgaste ou na ação de um ataque combinado entre o desgaste mecânico e as contribuições corrosivas do meio ambiente (Davis, 2003).

A corrosão com erosão é caracterizada pelo aparecimento na superfície do elemento metálico de estrias, picadas, orifícios e outras configurações de deterioração da superfície, predominantemente orientadas na direção do fluxo do fluido corrosivo (Smith, 1998).

3.1.2.7 Corrosão seletiva

Corrosão seletiva é um processo no qual o metal mais ativo é oxidado seletivamente, deixando uma estrutura alterada, consistindo principalmente na fase mais nobre, com propriedades mecânicas diminuídas. Um exemplo é a grafitação, do ferro fundido cinzento, que corresponde à oxidação seletiva do ferro e a persistência de uma rede de grafite com óxidos de ferro que mantém a forma inalterada no produto metálico. Esta forma de corrosão é favorecida em solos húmidos, água doce levemente ácida e água salobra. A sua prevenção envolve alterar localmente a agressividade do meio ambiente, prevenir condições de estagnação, bem como utilizar sistemas de proteção catódica ou inibidores de corrosão (Correia et al., 2012b).

3.1.2.8 Fadiga corrosão

A fadiga corrosão é causada pela ação conjunta de ações cíclicas e de um ambiente corrosivo (Correia et al., 2012b). É fortemente influenciada pelas propriedades mecânicas do material das quais se destacam a

resistência máxima, tensões cíclicas e tensões residuais. A microestrutura, influenciada pela composição do material e pelo processo de produção, e as condições ambientais, tais como a temperatura e humidade, são também relevantes no desenvolvimento do processo de degradação por fadiga corrosão (Davis, 2003).

Os ensaios de fadiga corrosão são objeto da norma EN ISO 11782-1:2008 (ISO, 2008a) e EN ISO 11782-2:2008 (ISO, 2008b), respeitantes aos ciclos até falha e a ensaios de propagação de fissuração respetivamente.

Este tipo de degradação, normalmente produz fissuras com poucas ramificações e estrias perpendiculares à direção de propagação da fissuração. Para controlar este fenómeno é necessário reduzir ou eliminar as ações cíclicas (Correia et al., 2012b) e prevenir a corrosão. Na Figura 3.7 ilustram-se os efeitos da fadiga corrosão no desempenho dum material.

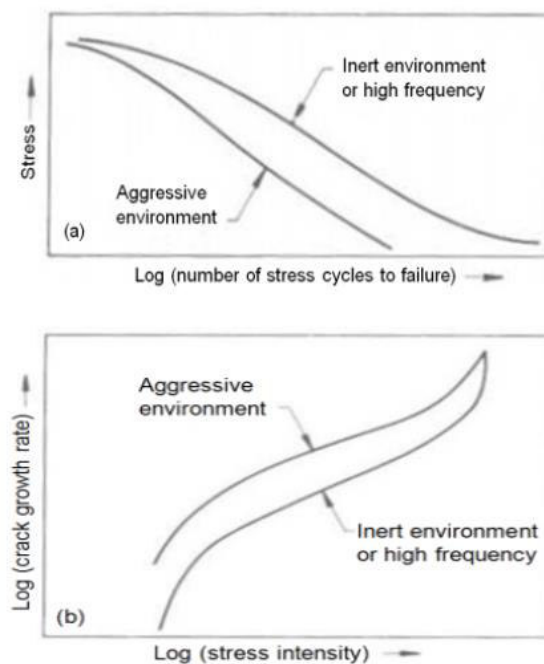


Figura 3.7 – Comparação do agravamento do desempenho à fadiga de um material por ocorrência de fadiga corrosão (Davis, 2003)

3.1.2.9 Corrosão galvânica

A corrosão galvânica ocorre quando diferentes elementos metálicos com diferentes potenciais eletroquímicos são eletricamente ligados entre si. É gerada uma força electromotriz que não é nada mais do que a diferença de potencial desses metais. Deste modo, o componente mais ativo torna-se em anódico e o outro em catódico, o que naturalmente resulta no aumento da velocidade de oxidação do material menos nobre.

A extensão da corrosão galvânica é largamente afetada pela diferença de potencial, pelas características do ambiente envolvente, pelas relações geométricas dos componentes e ainda pelo próprio comportamento eletroquímico dos materiais.

3.2 Fadiga

O fenómeno de fadiga consiste num processo de deterioração cumulativa, localizada e de dano permanente, resultado de ações cíclicas. A resultante deterioração causa o início da fissuração e subsequente propagação, podendo levar a rutura parcial ou total do elemento metálico (Perneta, 2010).

A fissuração por fadiga, geralmente é iniciada em zonas com concentrações de tensões elevadas e onde a tensão localizada excede o limite de elasticidade do material (Correia et al., 2012b).

A resistência à fadiga consiste no tempo de vida previsto de uma estrutura sob a aplicação de um intervalo de tensões expectável, até que ocorra a falha (Perneta, 2010). Os parâmetros principais que afetam a resistência à fadiga de uma estrutura são as tensões, o ambiente de exposição e a geometria e propriedades do elemento (Perneta et al., 2010).

É possível caracterizar a resistência à fadiga de um material pelo número de ciclos que o material consegue suportar, num determinado intervalo de tensões e antes da ocorrência da falha. Esta caracterização é demonstrada pelas curvas de resistência à fadiga, Figura 3.7, constantes no Eurocódigo 3, NP EN 1993-1-9 (IPQ, 2010).

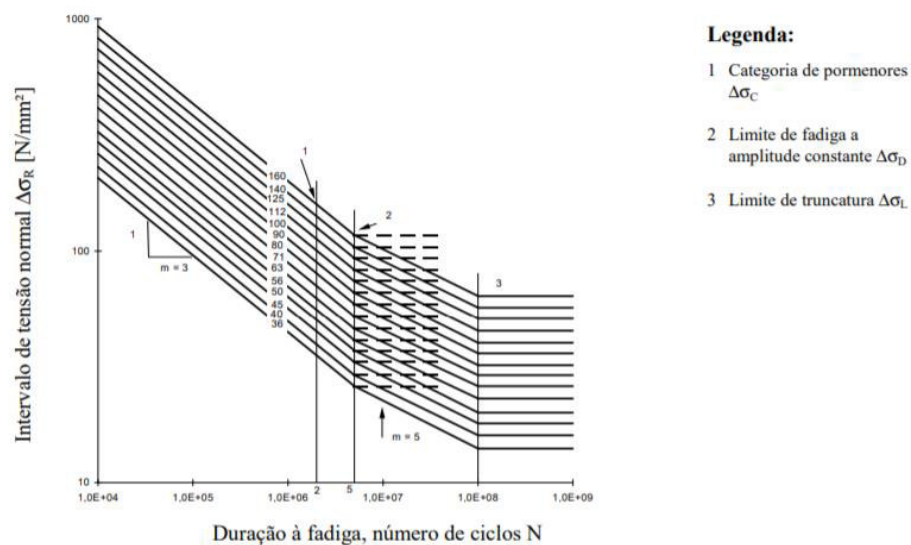


Figura 3.8 – Curvas de resistência à fadiga (CEN, 2010)

4. Campanha experimental

4.1 Identificação dos casos de estudo

Para a execução do trabalho proposto, recorreu-se à recolha de amostras provenientes de distintas estruturas em reabilitação e de escavações arqueológicas de locais emblemáticos da cidade de Lisboa, das quais se destacam as seguintes proveniências:

- Igreja de Santo António;
- Edifício sede do Millennium BCP – Baixa de Lisboa;
- Largo do Chafariz de Dentro;
- Palácio do Marquês de Marialva;
- Palácio da Rosa;
- Antiga fábrica de botões Schalck

As amostras da igreja de Santo António e do palácio da Rosa foram recolhidas *in situ* pelo autor, as amostras provenientes do edifício sede Millennium BCP foram recolhidas no âmbito de um estudo técnico realizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e as amostras referentes ao largo do Chafariz de Dentro, palácio do Marquês de Marialva e da antiga fábrica de botões Schalck foram gentilmente cedidas pelo Centro de Arqueologia de Lisboa.

No desenvolvimento deste trabalho foi dado especial ênfase aos elementos de fixação (pregos), fundamentada pela facilidade de acesso a elementos potencialmente utilizados no período de estudo visado na presente dissertação bem como pelo baixo impacto da sua extração na estrutura e pela simples forma de recolha e transporte dos mesmos, representando assim a grande maioria das amostras estudadas. A restrição no que concerne o tipo de componentes construtivos objeto de estudo resultou, também, de se objetivar prioritariamente estabelecer uma correlação da evolução histórica dos processos produtivos com as características dos materiais ferrosos então utilizados, que necessariamente seria distinta entre distintas categorias de produtos.

4.1.1 Igreja de Santo António

A Igreja de Santo António, Figura 4.1, localizada na Rua de Santo António da Sé, Lisboa, com a identificação IPA.00003143 (Vale et al., 2011) na base de dados do sistema de informação para o património arquitetónico, tal como a conhecemos nos dias de hoje, foi edificada entre 1767 e 1787, no local onde já existia uma capela datada do século XV em homenagem ao Santo que lhe dá o nome e que, supostamente, ali nasceu (DGPC, 2019a).

O edifício, tardo-baroco de linhas sinuosas marcadas no desenho do frontão e da escadaria, apresenta no seu interior uma nave única coberta por uma abóbada de berço (CML, 2018).

Na realização deste trabalho, foram, no dia 3 de outubro de 2018, recolhidas seis amostras de pregos que se encontravam cravados em barrotes de madeira na zona do altar. De acordo com a informação obtida em contexto de obra, estes barrotes são os originais, datados do século XVIII, não se conhecendo mais informação relativa aos pregos extraídos.



Figura 4.1 – Igreja de Santo António

4.1.2 Edifício sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

O edifício sede do Millennium BCP, Figura 4.2, situado na baixa de Lisboa em plena Rua Augusta nº84, confinado pela Rua da Conceição, Rua dos Correeiros e pela Rua de São Nicolau, apresenta como traço construtivo a influência da época pombalina.



Figura 4.2 – Edifício sede Millennium BCP

O edifício, que constitui a totalidade do quarteirão, apresenta um saguão central destinado à recolha de águas pluviais e a garantir alguma iluminação natural e ventilação. As paredes exteriores, constituídas por alvenaria de pedra argamassada com espessura de 0.9 m no piso térreo, rebocadas, estão interligadas a uma estrutura interior tridimensional de madeira que lhe confere maior rigidez. No entanto, a espessura das paredes diminui conforme a sua altura aumenta (Lourenço et al., 2014). Toda a estrutura tridimensional interior desenvolvida em madeira interligada, constituindo a gaiola pombalina, formando as chamadas cruces de Santo André, conferia ao edifício rigidez e capacidade de resistência aos abalos sísmicos (Morais, 2015). Os diversos edifícios que constituíam o quarteirão, incluindo uma capela, foram interligados aquando a intervenção realizada no início do séc. XXI.

As amostras utilizadas no âmbito deste trabalho foram recolhidas em 1998 no decorrer de um estudo técnico elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil que incidiu sobre o edifício mencionado. No decorrer desse estudo foram recolhidos e guardados nas instalações do LNEC aproximadamente 200 pregos com diferentes características geométricas.

4.1.3 Largo do Chafariz de Dentro

As referências mais antigas relativamente ao Chafariz de Dentro, outrora denominado Chafariz dos Cavalos, situado no largo do Chafariz de Dentro em Alfama, Figura 4.3, remontam a 1280 (CML, 2019). A sua atual designação adveio do facto de estar localizado no lado de dentro da muralha Fernandina (Gomes et al., 2019)

Este importante chafariz foi alvo de intervenção em 1494 por ordem de D. João II, tendo sido posteriormente objeto de uma importante reformulação em 1622 por ordem do Senado da Câmara. Com o sismo e tsunami de 1755 voltou a sofrer danos, tendo sido intervencionado também em 1872 (CML, 2019).

A amostra utilizada no decorrer deste trabalho foi recolhida em contexto de escavação arqueológica de intervenções realizadas em 2007, tendo sido cedida pelo CAL para objeto de estudo no presente trabalho.



Figura 4.3 – Largo do Chafariz de Dentro – Início do século XX (Lisboadeantigamente, 2016)

4.1.4 Palácio do Marquês de Marialva

As escavações efetuadas em 1999, para a construção de um parque de estacionamento subterrâneo na Praça Luís de Camões em Lisboa, permitiram descobrir as ruínas do Palácio do Marquês de Marialva, Figura 4.4. Este palácio, construído no século XVII, foi totalmente destruído pelo sismo de 1755, não tendo sido alvo de reconstrução (Monumentosdesaparecidos, 2012)



Figura 4.4 – Ruínas do Palácio Marquês de Marialva (Monumentosdesaparecidos, 2012)

A amostra utilizada no decorrer deste trabalho foi recolhida em contexto de escavação arqueológica, tendo sido gentilmente cedida pelo CAL para ser caso de estudo na presente dissertação.

4.1.5 Palácio da Rosa

O Palácio da Rosa, Figura 4.5, classificado como monumento de interesse público, sem data precisa de construção, mas com uma remodelação total em pleno século XVIII, localizado junto ao Castelo de São Jorge, caracteriza-se pela sua planta irregular em L (Gonçalves, 1994).

No início do século XX foi alvo de uma intervenção de ampliação, nomeadamente de acréscimo dos pisos superiores. Este palácio pertenceu aos Marqueses de Ponte de Lima, tendo sido comprado pela Câmara Municipal de Lisboa em 1970. Atualmente é propriedade de investidores privados que visam converter o espaço num hotel de luxo (DGPC, 2019b).

Para a realização desta dissertação, foram recolhidas no dia 14 de março de 2019 quatro amostras, incluindo um rebite, um parafuso, um fragmento destacado pertencente a um corrimão de escada exterior e ainda um elemento de guarda metálica de um varandim.



Figura 4.5 – Fachada do Palácio da Rosa

4.1.6 Antiga fábrica de botões Schalck

A antiga fábrica de botões Schalck, fundada em 1854, foi posta a descoberto nas escavações arqueológicas realizadas no ano 2000 na Calçada do Gascão, aquando da realização de obras de construção da piscina municipal de Alfama (Pereira, 2015).

Esta unidade fabril foi ocultada em 1954 no decorrer das obras de adaptação de vários edifícios contíguos por parte da CML (Folgado et al., 2003). No decorrer das escavações arqueológicas realizadas pelo CAL em 2000/2001 foram recolhidas diversas amostras, maioritariamente de proveniência industrial, sendo que na presente dissertação foi incluída a amostra de uma estaca gentilmente cedida por esta entidade.

4.2 Seleção de amostras

O processo de seleção das amostras de componentes de fixação que constituíram objeto de estudo, dos casos mencionados nas subsecções anteriores, consistiu na diferenciação e categorização prévia das mesmas atendendo essencialmente às suas características geométricas e morfológicas consequentes do seu uso e deterioração. Quando possível, os materiais de certos elementos metálicos onde estes componentes de fixação foram utilizados foram complementarmente amostrados (caso de estudo do Palácio da Rosa).

As seis amostras recolhidas na Igreja de Santo António foram separadas em dois grupos distintos, sendo cada um constituído por três amostras. Em cada um desses mesmos grupos procurou-se a uniformização de características que cada componente apresentava.

Assim sendo, o primeiro grupo foi formado por pregos sem cabeça, onde a zona contigua a esta, se encontrava consideravelmente danificada. Dentro deste grupo, Figura 4.6 a), foi selecionado para análise

um prego que apresentava também uma fratura, conforme assinalado, sendo identificado com o código de amostra ISA-A1, Figura 4.7 a).

Do segundo grupo, formado por três pregos geometricamente semelhantes, foi selecionado o prego assinalado na Figura 4.6 b), ao qual se atribuiu o código de identificação de amostra ISA-A2, Figura 4.7 b). A escolha deveu-se ao seu pior estado de conservação.

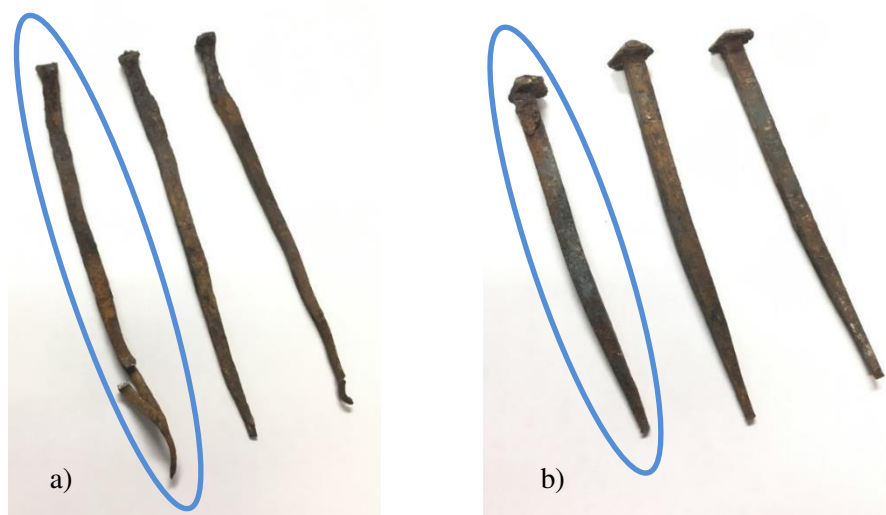


Figura 4.6 – Grupos de pregos provenientes da igreja de Santo António com indicação das amostras selecionadas para caracterização: a) Primeiro grupo de pregos designados “sem cabeça” e amostra ISA-A1 e b) Segundo grupo de amostras geometricamente semelhantes com indicação da amostra ISA-A2



Figura 4.7 – Aspectos gerais das amostras provenientes da igreja de Santo António selecionadas para estudo: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2

No caso das amostras referidas em 4.1.2, referentes ao edifício sede do Millennium BCP, procedeu-se igualmente à sua categorização e sequente escolha.

Foram avaliadas cerca de 200 amostras, sendo efetuada previamente a sua separação em conjuntos representativos, Figura 4.8, tendo em especial consideração a sua dimensão, geometria e o tipo de cabeça.

A escolha das peças seleccionadas para estudo incidiu essencialmente nas diferenças geométricas.



Figura 4.8 – Aspectos gerais dos conjuntos de pregos provenientes do edifício sede do Millennium BCP

Apresenta-se seguidamente, na Figura 4.9, as cinco amostras, seleccionadas de acordo com o critério anteriormente descrito, consideradas representativas do espectro da amostragem inicial, e que deverão corresponder ao período de análise previsto mais alargado.

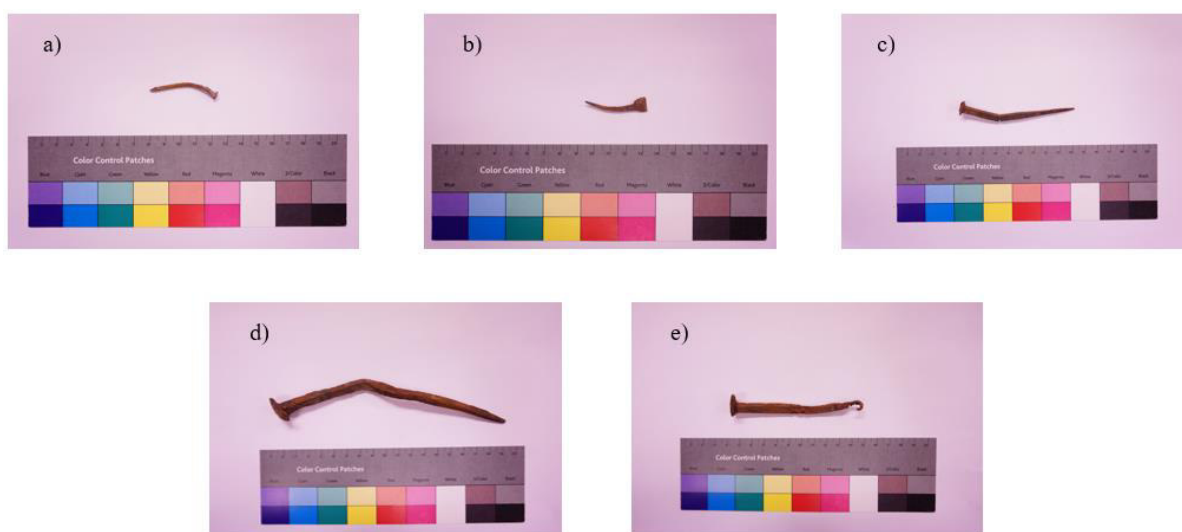


Figura 4.9 – Aspectos gerais das amostras provenientes edifício sede do Millennium BCP seleccionadas para estudo: a) Amostra B-A1; b) Amostra B-A2; c) Amostra B-A3; d) Amostra B-A7; e) Amostra B-A8

No que diz respeito à amostra recolhida no Largo do Chafariz de Dentro, referenciada em 4.1.3, a mesma foi cedida pelo CAL encontrando-se cravada num barrote de madeira, Figura 4.10 a). Assim, foi necessário extrair o prego desse barrote para que pudesse vir a ser objeto de posterior análise. Este foi identificado pelo código de amostra LCD, Figura 4.10 b).



Figura 4.10 – Aspectos gerais da amostra recolhida em contexto de escavação arqueológica no Largo do Chafariz de Dentro caracterizada no presente estudo: a) Amostra cravada em barrote de madeira; b) Amostra LCD após extração

Por sua vez, à amostra referida na secção 4.1.4, encontrada em contexto de escavação arqueológica nas ruínas do Palácio do Marquês de Marialva, foi atribuído o código de identificação de amostra PLC, Figura 4.11.



Figura 4.11 – Aspetto geral da amostra PLC recolhida em contexto de escavação arqueológica nas ruínas do Palácio Marquês de Marialva caracterizada no presente estudo

Às amostras recolhidas no palácio da Rosa, referenciadas em 4.1.5, Figura 4.12, foram atribuídos os códigos de identificação PR.

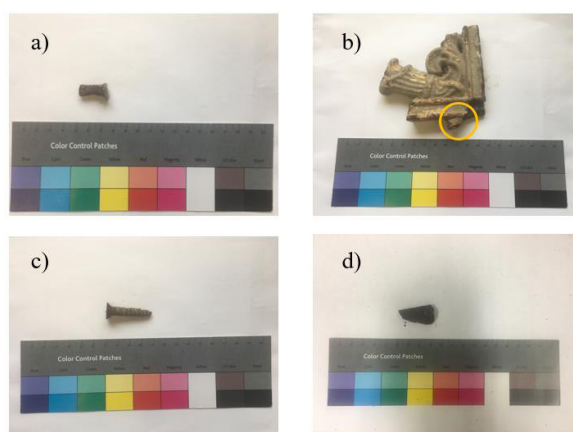


Figura 4.12 – Aspectos gerais das amostras provenientes do Palácio da Rosa recolhidas para estudo: a) Amostra PR-1; b) Amostra PR-2; c) Amostra PR-3; d) Amostra PR-4

Uma vez que estas amostras foram recolhidas *in situ*, foi possível, identificar e contextualizar a sua localização exata. Assim, a amostra PR-2 foi extraída de um varandim interior, que, no entanto, já esteve

sob condições de exposição exterior, sendo as amostras PR-1 e PR-3 recolhidas junto a este mesmo varandim. A amostra PR-4 foi destacada de um corrimão de uma escada exterior, Figura 4.13.



Figura 4.13 – Proveniência da amostra PR-4, que foi destacada de um corrimão de uma escada exterior do Palácio da Rosa

No que concerne à amostra recolhida na antiga fábrica de botões Schalck, mencionada em 4.1.6, descoberta em contexto arqueológico, aparenta ser uma estaca de dimensões consideráveis, tendo recebido o código de identificação de amostra CG-1, Figura 4.14. Dada a sua elevada dimensão, foi cortada da amostra inicial a zona da ponta da estaca que foi objeto de análise.



Figura 4.14 – Aspeto geral da amostra CG-1 recolhida em contexto de escavação arqueológica na antiga fábrica de botões Schalck caracterizada no presente estudo

4.3 Preparação dos provetes

Para a realização de ensaios foi necessária a preparação prévia das amostras, que consistiu na execução de procedimentos vários tais como corte com serrote, corte de precisão, montagem em resina, polimento e

ataque químico, de acordo com práticas utilizadas na Unidade de Caracterização Mineralógica e Microestrutural de Materiais (U3M) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, por sua vez baseadas em procedimentos normalizados (ASTM E13-11, 2017a) e práticas correntes (Bramfitt & Benscoter, 2002). Estes procedimentos permitiram obter os diferentes provetes para a realização dos diferentes ensaios de caracterização química e metalográfica dos materiais

4.3.1 Corte

O corte da amostra permitiu a redução da dimensão inicial da peça. Esta redução foi efetuada com recurso a um serrote, Figura 4.15 a) e b), para que o comprimento dos troços possibilitasse a sua sequente preparação, ou prevenindo eventuais contaminações que pudessem interferir nos resultados das análises.

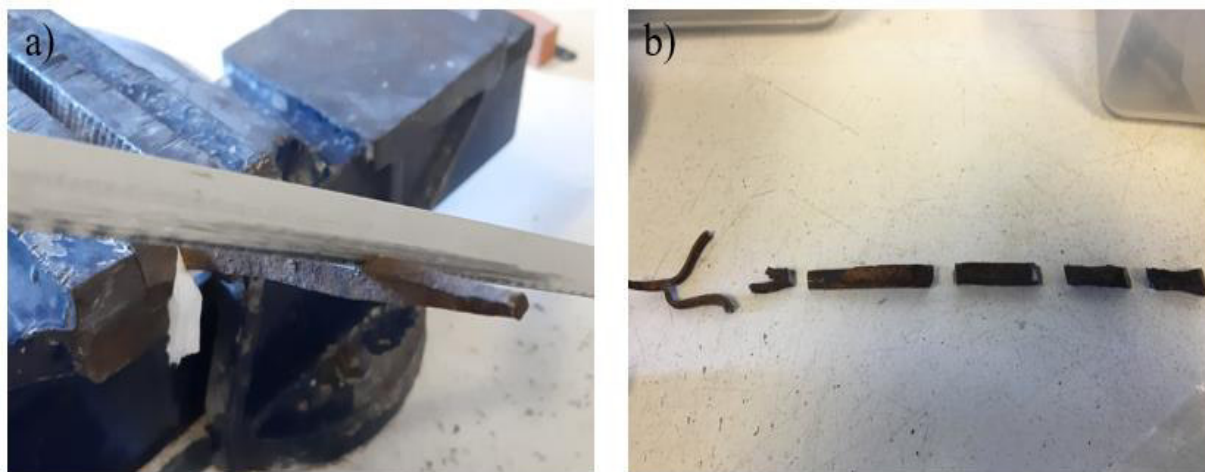


Figura 4.15 - Figura 4.15 – a) Ilustração do procedimento de corte de uma amostra com o serrote;
b) Aspeto geral dos fragmentos da amostra ISA-A1, após o procedimento de corte com serrote

Após a realização deste corte inicial, as amostras passaram a ter dimensão adequada para que fosse possível efetuar o corte com precisão das peças, Figura 4.15 b). Este corte foi obtido com a utilização do equipamento de corte de precisão *Struers Accutom-2*, Figura 4.16 a) que, com recurso a um disco diamantado arrefecido, com o produto *corrozip*, tem como objetivo a criação de uma superfície plana de corte. Foram realizados três cortes de precisão em cada amostra do tipo prego, Figura 4.16 b), por forma a obter uma superfície de corte para análise transversal e mais dois cortes, espaçados por um centímetro entre eles, dos quais se obteve mais uma face para análise longitudinal. Nas amostras identificadas como PR-2, PR-4 e CG-1, efetuou-se apenas um corte de precisão.

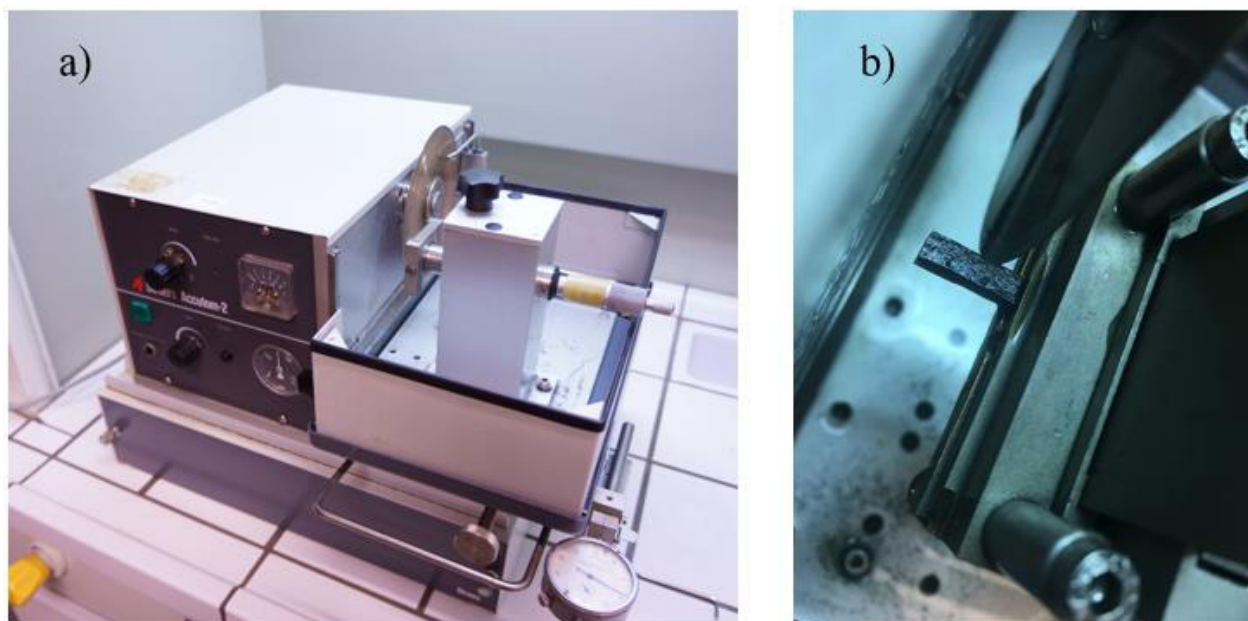


Figura 4.16 – Aspeto geral do a) Equipamento de corte de precisão *Struers Accutom-2* e b) ilustração do procedimento de corte precisão com arrefecimento com o produto *corrozip*

Na análise da seção longitudinal é possível observar a deformação do grão, bem como identificar morfologicamente as inclusões. No caso da seção transversal, é possível analisar a uniformidade microestrutural, a distribuição das escórias na secção e medir o tamanho do grão.

Em particular, nas amostras ISA-A1, B-A2 e B-A7, efetuaram-se cortes com serrote a 45° para possibilitar a análise dos produtos de corrosão.

Concluído o processo de corte das amostras, foi possível dar início ao processo de montagem dos provetes.

4.3.2 Montagem dos provetes em resina

A montagem dos provetes em resina tem como objetivo proteger a amostra e facilitar a preparação de uma superfície plana com qualidade suficiente para as sequentes observações, bem como facilitar o manuseamento e armazenagem.

O método consistiu na colocação dos provetes obtidos, após o procedimento mencionado no ponto 4.3.1, numa resina epóxi *ClaroFast* da *Struers* de dois componentes (metacrilato de metil e peróxido de benzofilo), que se submeteu a aquecimento sob pressão para a sua montagem.

A metodologia de montagem dos provetes consistiu na utilização do equipamento *Struers LaboPress-1*, Figura 4.17 a), no qual estes provetes foram colocados, tendo especial atenção à face apoiada, para posteriormente ser envolvida na resina epóxi. A temperatura de 150 °C exigida para a sua fusão é garantida pela programação do equipamento durante os 6 minutos em que o processo decorre. Para evitar a formação de bolhas torna-se necessário garantir que o processo de fusão ocorre sujeito a uma força constante de 20

kN. Logo que se concluiu o processo de fusão, iniciou-se imediatamente o processo de arrefecimento do provete, que durou 5 minutos e foi efetuado com água corrente.

Como resultado do processo descrito, foram montados no total dez provetes, Figura 4.17 b), nos quais foram distribuídas as catorze amostras transversais e longitudinais.

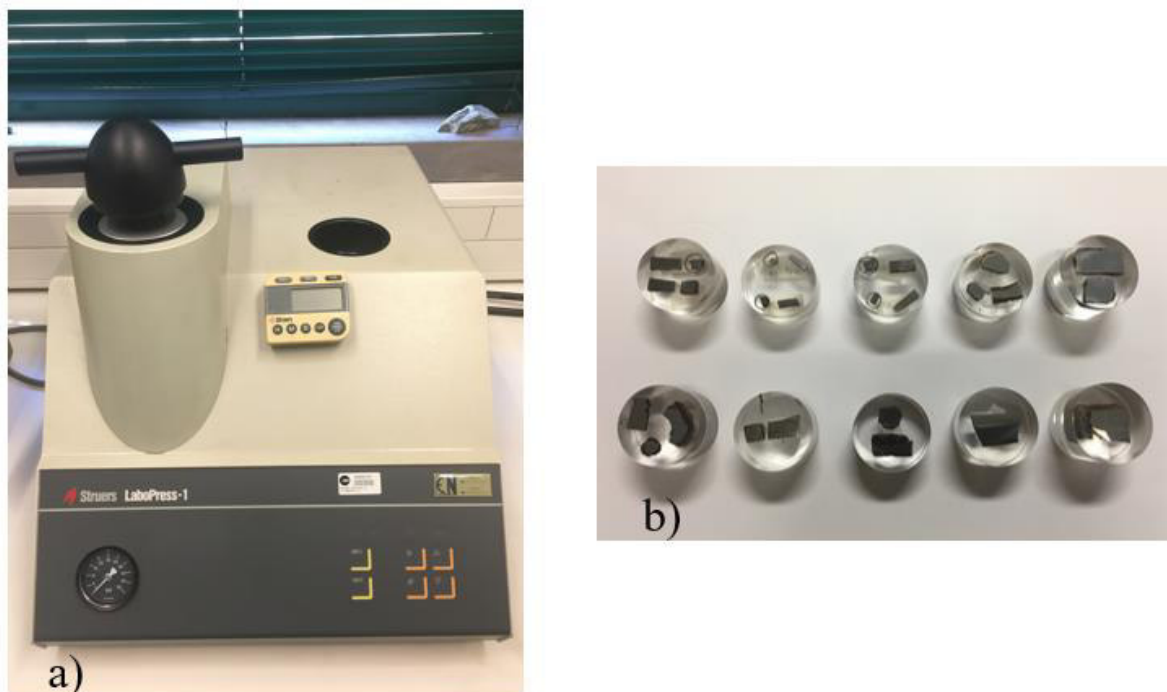


Figura 4.17 – Aspectos gerais do a) Equipamento *Struers LaboPress-1* e b) de alguns dos provetes após montagem em resina

4.3.3 Polimento

Após a montagem dos provetes, foi necessário proceder ao seu polimento para obtenção de superfícies polidas, livre de riscos ou deformações, para que fosse efetuada a caracterização microestrutural.

Para o polimento dos provetes recorreu-se à utilização de diferentes panos de lixas com granulometrias distintas desde o grão mais grosseiro até ao mais fino.

Este processo podia ser realizado manual ou automaticamente. Inicialmente começou por se efetuar um polimento superficial manual com a lixa P120 para promover o desbaste inicial da superfície do provete. Seguidamente iniciou-se a utilização do equipamento *Struers RotoPol-21*, que é constituído por dois pratos giratórios, Figura 4.18. O prato situado do lado esquerdo permitiu que fosse efetuado o polimento com água com uma frequência de 300 rpm, enquanto o situado à direita realizava um polimento a seco com recurso a panos de diamante e uma frequência de 150 rpm.



Figura 4.18 – Aspeto geral do equipamento *Struers RotoPol-21*

Concluído o polimento manual prévio, os provetes foram então polidos automaticamente utilizando o polimento com água e as diversas lixas com granulometria variável. Na transição entre as diferentes lixas foi necessário alternar 90° a direção do polimento para assegurar que este era efetuado em direções perpendiculares, garantindo assim um correto procedimento. Uma vez que este processo utiliza água para evitar que a amostra seja alterada por aquecimento, após cada polimento foi necessário lavar os provetes em álcool e garantir a sua secagem para evitar a sua oxidação.

Na segunda fase do processo, utilizou-se o outro prato do *Struers RotoPol-21*, sendo efetuados três polimentos com soluções de suspensão *Struers DP-Suspension P* e panos de diamantes de 6 μm , 3 μm e 1 μm sequencialmente. Após a realização deste processo, os provetes foram novamente lavados com álcool.

As amostras ISA-A1, B-A2 e B-A7, cuja superfície de corte foi alinhada ao eixo do prego a 45°, foram polidas grosseiramente de forma manual com os panos de lixas P320, P500 e P800, apenas para uniformizar a superfície.

4.4 Procedimentos experimentais de ensaio

Para proceder à caracterização das amostras escolhidas em 4.2, realizaram-se diversos ensaios, que serão detalhados nas seções seguintes, de acordo com os procedimentos e metodologias de análise em prática no Núcleo de Materiais Metálicos do LNEC, baseados nas normas aplicáveis, nomeadamente ASTM E112 (ASTM, 2015b), ASTM E407-07 (ASTM, 2015c), ASTM E45-18a (ASTM, 2018), ASTM E384-17 (ASTM, 2017b) e ASTM A247-10 (ASTM, 2010).

4.4.1 Análise macrográfica

A caracterização macrográfica das amostras incidiu na observação visual à vista desarmada e na observação com recurso a uma lupa *Nikon-SMZ800*, Figura 4.19, sendo registados diversos detalhes das amostras, nomeadamente, a forma e a cabeça do prego, existência de fraturas ou de zonas danificadas e as características dos produtos de corrosão.



Figura 4.19 – Aspeto geral do equipamento *Nikon-SMZ800*

A observação das amostras, foi efetuada registando pormenores a diferentes ampliações até um máximo de 6,3 vezes, através de um sistema de vídeo de aquisição automática de imagens.

4.4.2 Caracterização microestrutural

A análise microestrutural é especialmente importante uma vez que permite revelar a natureza da amostra, sendo possível caracterizar as fases constituintes da matriz metálica, bem como o tipo e a severidade de inclusões decorrentes do processo de fabrico do material. Consoante esta análise seja realizada sobre a secção longitudinal ou transversal, podem ser avaliados distintos pormenores. Em secção longitudinal é possível caracterizar as inclusões ou escórias e observar as consequências do processamento do aço. Já na secção transversal caracteriza-se o tamanho do grão, sendo possível verificar a uniformidade ao longo da secção.

Esta análise foi efetuada recorrendo a um microscópico metalúrgico de reflexão com platina invertida *Olympus PMG3* (Figura 4.20). Este equipamento permite efetuar ampliações tanto na objetiva como na lente

ocular. Na primeira, a variação de ampliação oscila entre as 5 e as 100 vezes; na segunda, está disponível uma ampliação de 10 vezes, sendo a ampliação total obtida pela sua multiplicação (50, 100, 200, 500 e 1000 vezes). As observações realizadas foram registadas através de um sistema de vídeo para aquisição de imagens.



Figura 4.20 – Aspeto geral do equipamento *Olympus PMG3*

4.4.2.1. Prévia ao ataque químico

Os diferentes provetes foram observados ao microscópio metalográfico, após montagem e polimento, tal como descrito anteriormente em 4.3.2 e 4.3.3.

4.4.2.2. Após o ataque químico

O ataque químico dos provetes das diferentes amostras objeto de estudo consistiu na exposição da amostra a uma solução de nital 5 %, constituída por 95 % de álcool e 5 % de ácido nítrico. O procedimento consistiu em colocar o provete em contato durante 5 segundos na solução, Figura 4.21, sendo de seguida passado por água corrente e finalmente lavado com álcool.

Concluído este processo, é verificado com auxílio do microscópio se a amostra tem a sua microestrutura revelada; caso contrário é necessário repetir o processo até se obter um resultado satisfatório. A repetição do processo pode envolver alterações do tempo de exposição ou até modificar a concentração da solução de ataque químico.

No que diz respeito ao processo de ataque realizado no provete que continha as amostras B-A1 e B-A2 foi necessário repeti-lo por mais 5 segundos uma vez que a microestrutura não foi devidamente revelada no primeiro ataque. Os restantes provetes revelaram a sua microestrutura na primeira exposição à solução de nital.



Figura 4.21 – Solução de ataque químico – Nital 5%

4.4.3 Microscópia eletrónica de varrimento

Para a análise dos produtos de corrosão, em provetes polidos e em camadas destacadas das amostras, observaram-se diferentes amostras no microscópio eletrónico de varrimento (MEV) *Jeol JSM-6400*, Figura 4.22,

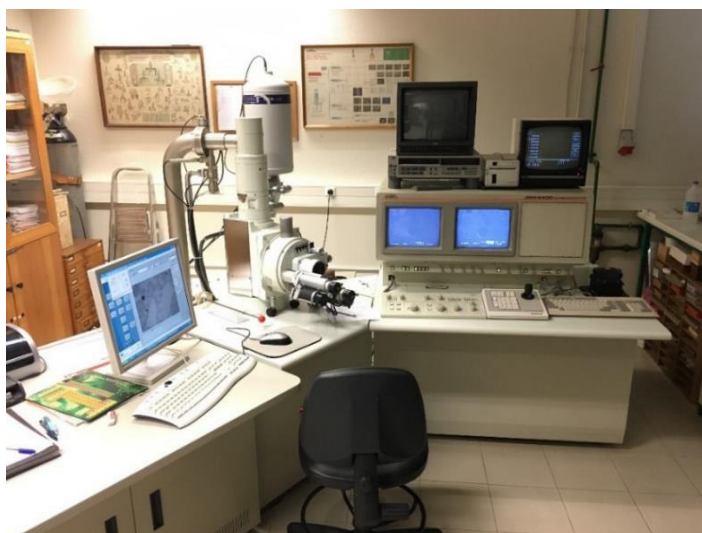


Figura 4.22 – Aspeto geral do equipamento *Jeol JSM-6400*

Na preparação dos provetes para observação no MEV, foi necessário efetuar o seu recobrimento com uma película de ouro, no equipamento apropriado *Baltec SCD 005* (Figura 4.23), de modo a tornar as superfícies a observar condutoras. Adicionalmente, os provetes foram colocados no suporte próprio do equipamento, sobre fita de carbono, para melhoria da condução.

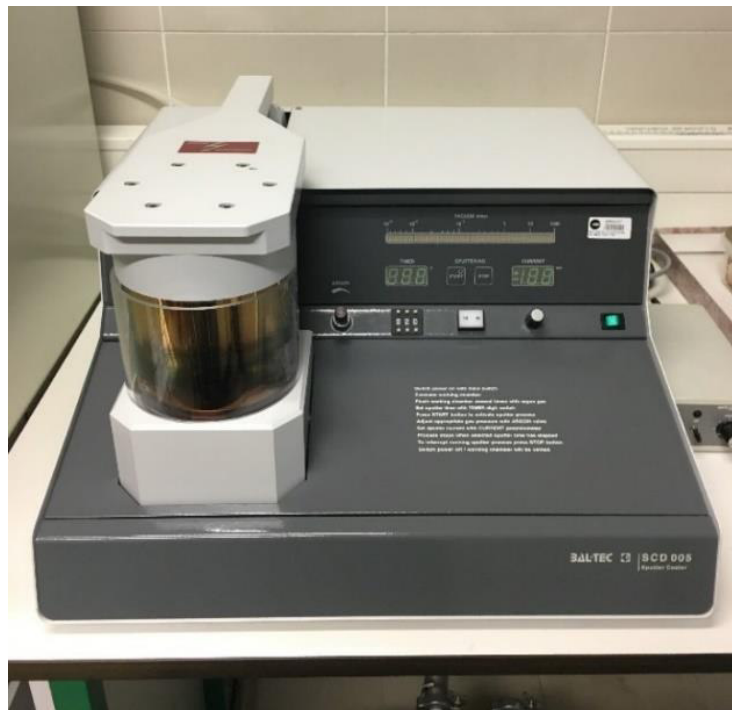


Figura 4.23 – Aspeto geral do equipamento *Baltec SCD 005*

Através das observações realizadas no MEV foi possível determinar a composição química por microanálise de raios X por dispersão em energias (EDS), utilizando para o efeito um microanalizador de raios X *Oxford Inca 300* com tensão de feixe eletrónico de 15 keV.

Foi assim possível, efetuar o estudo da natureza, morfologia e caracterização dos produtos de corrosão retirados das diferentes amostras, sendo expectável a obtenção nos espectros dos picos correspondentes ao carbono e ouro, inerentes ao processo de preparação de amostras.

4.4.4 Determinação da microdureza

A determinação da microdureza dos materiais ferrosos foi efetuada pela indentação dos provetes no equipamento *Struers Duramin* (Figura 4.24), permitindo estimar a dureza do material analisado.

Os provetes foram ensaiados, tanto transversalmente como longitudinalmente, sendo sujeitos a uma força de 0,981 mN durante 5 segundos. A realização deste ensaio foi efetuada após o ataque químico com

nital 5%, de modo a que o ensaio fosse efetuado em diferentes áreas das amostras e, assim, fosse possível comparar as propriedades dos diferentes constituintes microestruturais.

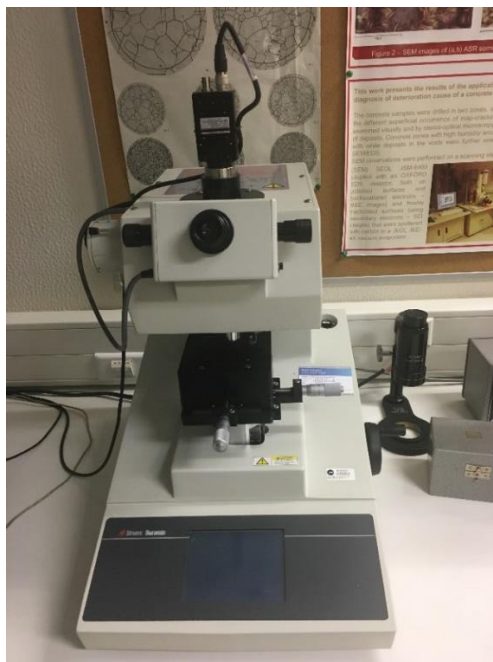


Figura 4.24 – Aspeto geral do equipamento *Struers Duramin*

5. Análise de resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados dos distintos ensaios de caracterização realizados na campanha experimental. A análise integrada dos diferentes resultados apresenta-se no final desta secção.

No anexo A apresenta-se o registo detalhado simplificado dos resultados obtidos para cada amostra ensaiada.

5.1 Observação visual e análise macrográfica

Realizou-se a observação visual e a análise macrográfica de todas as amostras, tendo-se procedido à captura de imagens de pormenor de forma simplificada para aferir se, com base exclusiva em características geométricas, se poderá inferir sobre a tecnologia de produção e provável época de origem. Assim, foram seleccionadas 50 fotografias, apresentadas em anexo, que tipificam e enquadram as amostras identificadas em 4.2.

No âmbito da análise macrográfica procurou dar-se especial atenção às seguintes características:

- geometria;
- estado de conservação;
- presença fissuras ou delaminação;
- aspetos topográficos e morfológicos.

5.1.1 Características geométricas

A observação das características geométricas da maioria das amostras centrou-se especialmente na cabeça e no corpo no caso dos pregos e/ou elementos de fixação. Assim, as diferenças analisadas no processo de seleção de amostras serão aqui evidenciadas.

A amostra ISA-A1 era um prego sem cabeça definida, Figura 5.1 a), aparentemente em consequência de degradação a que este se encontrou sujeito. A amostra ISA-A2, Figura 5.1 b), era um prego com cabeça bem definida em formato, circular (em vista), e alongamento piramidal aproximadamente de 6 mm. Estas duas amostras aparentavam ser pregos manufaturados. Por sua vez, a amostra B-A1, Figura 5.1 c), revelava uma cabeça muito bem definida, plana e circular (em vista), com marcas no corpo do prego nas suas proximidades, provavelmente fruto de produção industrializada semelhante às encontradas atualmente.

A observação da amostra B-A2, Figura 5.1 d), revelava a secção achatada com um comprimento aproximado de 8 mm e a cabeça como um elemento de características distintas, nomeadamente por não se apresentar perpendicular ao normal desenvolvimento do corpo do prego mas sim no mesmo plano. No caso da amostra B-A3, Figura 5.1 e), a sua cabeça de formato circular (em vista) e com um alongamento

aproximado de 3 mm, aparentemente apresentava-se como um prego produzido com recurso a processos industrializados. A amostra B-A7, Figura 5.1 f), apresentava uma cabeça plana e de formato circular (em vista), muito irregular, com uma espessura aproximada de 3 mm; revelou-se aparentemente como sendo um prego manufaturado. No que diz respeito à amostra B-A8, Figura 5.1 g), a cabeça plana de formato circular (em vista), com espessura aproximada de 3 mm, aparentava ser semelhante à da amostra B-A7, ou seja, manufaturado.



Figura 5.1 – Aspectos de pormenor da cabeça das amostras: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A1; d) Amostra B-A2; e) Amostra B-A3; f) Amostra B-A7; g) Amostra B-A8

Já a amostra LCD apresentava a cabeça consideravelmente degradada, Figura 5.2 a), sendo o seu corpo de secção quadrada. No que diz respeito à amostra PLC, recolhida em contexto de escavação arqueológica, e por isso demasiado degradada, não foi possível determinar com exatidão a forma da sua secção ou mesmo prever como seria a geometria da sua cabeça, aparentemente esférica Figura 5.2 b).

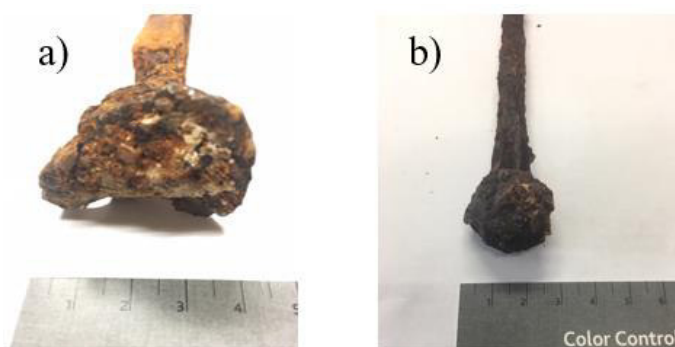


Figura 5.2 – Pormenor da cabeça das amostras: a) Amostra LCD e b) Amostra PLC

No que concerne as amostras do Palácio da Rosa, foi possível identificar a amostra PR-3 como sendo um elemento constituinte de uma ligação aparafusada., enquanto a amostra PR-1 aparentava tratar-se de um rebite. No caso das amostras PR-2 e PR-4 não foi possível avaliá-las comparativamente com as restantes, uma vez que não se enquadram no mesmo tipo de componentes construtivos.

Relativamente à amostra CG-1, uma estaca de dimensões consideráveis, não foi possível contextualizar as características da sua secção/cabeça nos mesmos moldes que as das anteriores. No entanto, é de salientar as suas dimensões, Figura 4.14, particularmente no que se refere às características da sua secção.

5.1.2 Estado de conservação

5.1.2.1 Deterioração por corrosão

No que diz respeito ao estado de conservação, constatou-se que todas as amostras analisadas apresentavam na sua superfície zonas bem definidas com diferentes graus de deterioração por corrosão. As amostras analisadas podem ser divididas em três grupos de acordo com a gravidade de danos por corrosão registada em cada uma delas.

No primeiro grupo, no qual se encontram as amostras que apresentavam uma maior gravidade de danos por corrosão, destacam-se as amostras ISA-A1, B-A7, B-A8, LCD, PLC e PR-4, Figura 5.3. Estas apresentam na sua superfície zonas uniformemente corroídas, originando inclusive a perda parcial de secção transversal do elemento nesses locais, podendo levar inclusive à delaminação, Figura 5.3 f).

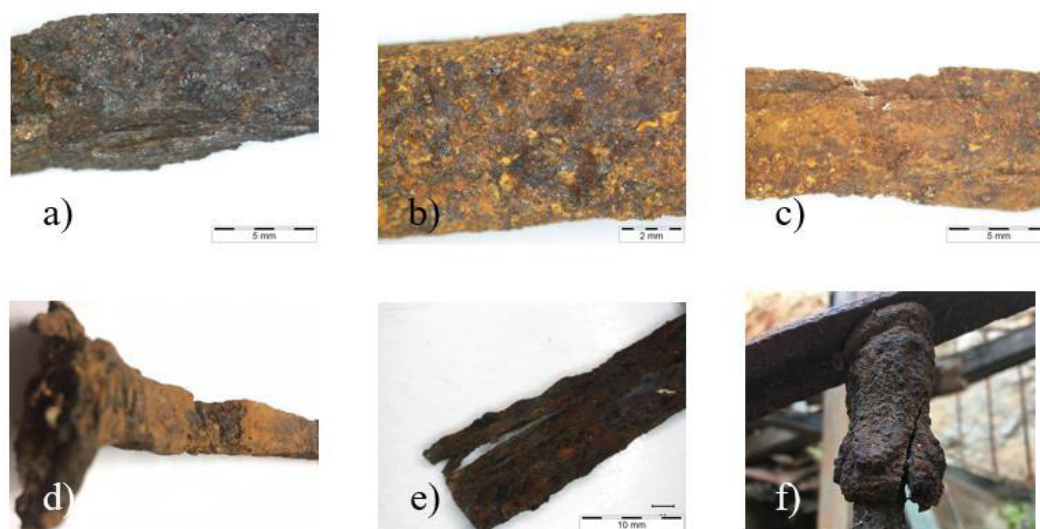


Figura 5.3 – Aspetos de pormenor das amostras que apresentavam uma maior gravidade de danos por corrosão: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra B-A7; c) Amostra B-A8; d) Amostra LCD; e) Amostra PLC; f) Amostra PR-4

O segundo grupo, um grupo cujas amostras apresentavam uma gravidade intermédia da deterioração, foi constituído pelas amostras que apresentavam níveis de deterioração inferiores aos do grupo anterior, mas que apresentam danos superiores aos estabelecidos para o grupo com menores danos. Referem-se as amostras ISA-A2, B-A2 e B-A3, Figura 5.4, que exibem zonas uniformemente corroídas, com perda de secção localizada, por oposição a zonas praticamente sem vestígios de corrosão.



Figura 5.4 – Aspetos de pormenor das amostras que apresentavam uma gravidade intermédia de danos por corrosão: a) Amostra ISA-A2; b) Amostra B-A2; c) Amostra B-A3

As amostras PR-1, PR-3 e CG-1, enquadram-se também neste segundo grupo, apresentando similarmemente às anteriores uma camada superficial de corrosão. Em particular, a amostra CG-1, Figura 4.14, apresentava uma camada uniformemente distribuída de produtos de corrosão.

No terceiro e último grupo, encontram-se as amostras que apresentam o menor nível de deterioração, ou seja, a amostra B-A1 e PR-2, Figura 5.5, sendo que a amostra PR-2 apresentava áreas com sistema de proteção anticorrosiva

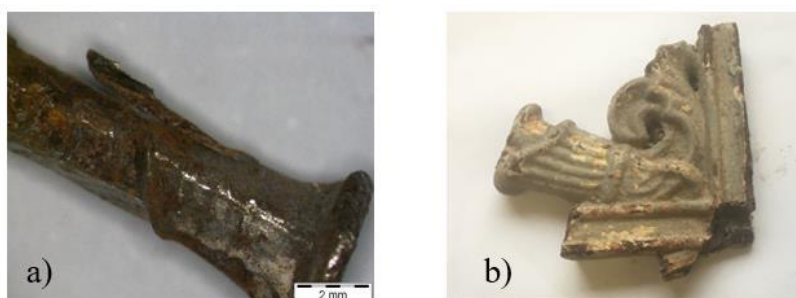


Figura 5.5 – Aspetos de pormenor das amostras que apresentavam uma menor gravidade de danos por corrosão: a) Amostra B-A1; b) Amostra PR-2

A variação da gravidade de dano por corrosão das amostras pode ser devida ao tempo de vida das amostras, condições de exposição e às próprias características.

5.1.2.2 Fissuração e delaminação

Nas amostras seleccionadas foi observada apenas uma fratura na amostra ISA-A1, Figura 5.6, que deverá ter tido origem no processo de arranque do prego do material em que este se encontrava aplicado. Uma análise mais pormenorizada desta fratura é realizada na secção 5.4.

A amostra PR-2 também apresentava superfícies de fratura nas secções de ligação ao componente do varadim do qual se verificou ser proveniente, durante a sua recolha em obra.



Figura 5.6 – Aspeto geral da fratura existente na amostra ISA-A1

A delaminação observada na maioria das amostras foi causada pela deterioração por corrosão.

Nas amostras ISA-A2, B-A1, B-A8 e PR-4, foi observada a delaminação localizada de pequenas porções de produtos de corrosão que se destacavam da matriz metálica. No caso da amostra ISA-A2, Figura 5.7 a), a porção parcialmente delaminada, com um desenvolvimento aproximado de 15 mm era aparentemente constituída exclusivamente por produtos de corrosão. A amostra B-A1, Figura 5.7 b), apresentava uma porção delaminada com aproximadamente 4 mm de espessura; já o caso da amostra B-A8, Figura 5.7 c), apresentava uma porção delaminada com um desenvolvimento de 10 mm. No que concerne à amostra PR-4, Figura 5.7 d), verificou-se que esta expunha uma porção delaminada com aproximadamente 25 mm de desenvolvimento. O manuseamento desta amostra conduziu ao destacamento de referida porção.



Figura 5.7 – Aspectos de pormenor de áreas delaminadas em diferentes amostras: a) Amostra ISA-A2; b) Amostra B-A1; c) Amostra B-A8; d) Amostra PR-4

5.1.3 Aspectos topográficos e morfológicos

Algumas das amostras apresentavam uma topografia pouco uniforme com cavidades, que afetavam deste modo a sua secção transversal efetiva localmente, ou com zonas visivelmente desgastadas. A amostra

B-A1, Figura 5.8 a), apresentava uma zona desgastada. Nas amostras B-A2 e B-A8, Figura 5.8 b) e c), observaram-se cavidades acentuadas no corpo do prego, que reduzem assim localmente a sua secção transversal.

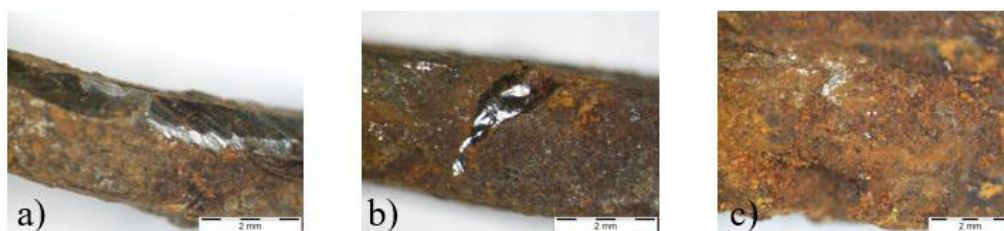


Figura 5.8 – Aspetos de pormenor da topografia das amostras: a) Amostra B-A1 – zona desgastada; b) Amostra B-A2 – cavidade; c) Amostra B-A8 – cavidade

Na amostra LCD, Figura 5.2 a), observou-se uma cavidade de grande dimensão, apresentando-se a amostra também visivelmente desgastada. Por outro lado, a amostra PLC, Figura 5.2 b), apresentava uma grande irregularidade, com zonas consideravelmente mais corroídas. Estas duas amostras apresentavam níveis de degradação consideravelmente elevados, devido ao facto de serem artefactos arqueológicos que estiveram expostos por longos períodos de tempo à agressividade dos solos.

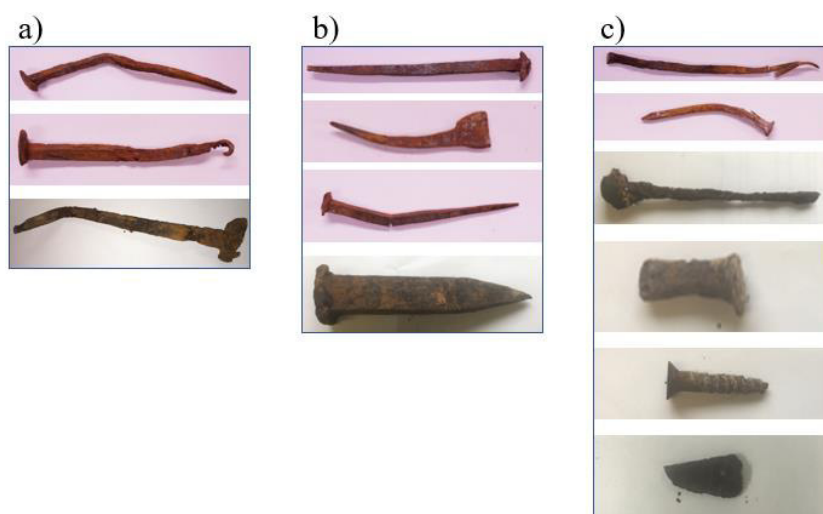


Figura 5.9 – Amostras agrupadas de acordo com a sua morfologia e tonalidade dos produtos de deterioração: a) Grupo 1 - acastanhada; b) Grupo 2 - castanha-acinzentada; c) Grupo 3 - cinzenta

No que se refere à morfologia, as amostras foram agrupadas em três grupos distintos de acordo com a tonalidade e aspeto dos produtos de corrosão, Figura 5.9. O primeiro grupo contemplava as amostras com produtos de tonalidade acastanhada, nomeadamente as amostras B-A7, B-A8 e LCD. No segundo grupo foram inseridas as amostras ISA-A2, B-A2, B-A3 e CG-1 com produtos de tonalidade castanha-acinzentada. Já no terceiro e último grupo, referente aos produtos de cor cinzenta, inseriram-se as amostras ISA-A1, B-A1, PLC, PR-1, PR-3 e PR-4.

A amostra PR-2 não foi considerada nesta classificação por se tratar de um elemento pintado.

5.2 Caracterização microestrutural

A observação das amostras, em secções longitudinal e transversal, revelou a presença, distribuição e severidade de escórias /inclusões, bem como a natureza do material através da identificação e caracterização das suas fases constituintes.

No anexo A encontram-se variadas fotografias de pormenor que apoiam a análise efetuada nas seguintes secções.

5.2.1 Presença de escórias/ inclusões

Em algumas das amostras polidas a presença de escórias foi facilmente observada à vista desarmada, nomeadamente nos provetes das amostras ISA-A1, PLC, ISA-A2, B-A2, B-A7 e especialmente em B-A8, e Figura 5.10. Naturalmente que o simples facto de se conseguirem observar as escórias sem recorrer a acessórios auxiliares de observação indica, à partida, uma elevada severidade de escórias, algumas de grande dimensão.



Figura 5.10 – Aspeto geral da amostra B-A8 assinalando a existência de escórias de grandes dimensões

Realizada a observação dos provetes de secção longitudinal no microscópio metalográfico, foi possível determinar com exatidão a presença de escórias/inclusões, bem como ter a perceção da sua quantidade e natureza nas amostras.

As amostras ISA-A1, ISA-A2, B-A2, B-A3, B-A7 e B-A8, Figura 5.11, revelaram conter uma grande quantidade de escórias. Esta severidade é particularmente notória nas amostras B-A7 e B-A8, Figura 5.11 e) e f). Complementarmente foi possível verificar na amostra B-A7, Figura 5.11 e), a presença de escórias globulares que, caso fossem inclusões, poderiam ser classificadas morfologicamente como sendo de natureza química diferente das restantes. A geometria circular no plano, quase perfeita, destas escórias poderá assim indicar que serão óxidos. É frequente encontrar-se também a presença de silicatos, aluminatos e sulfuretos considerando a sua morfologia.

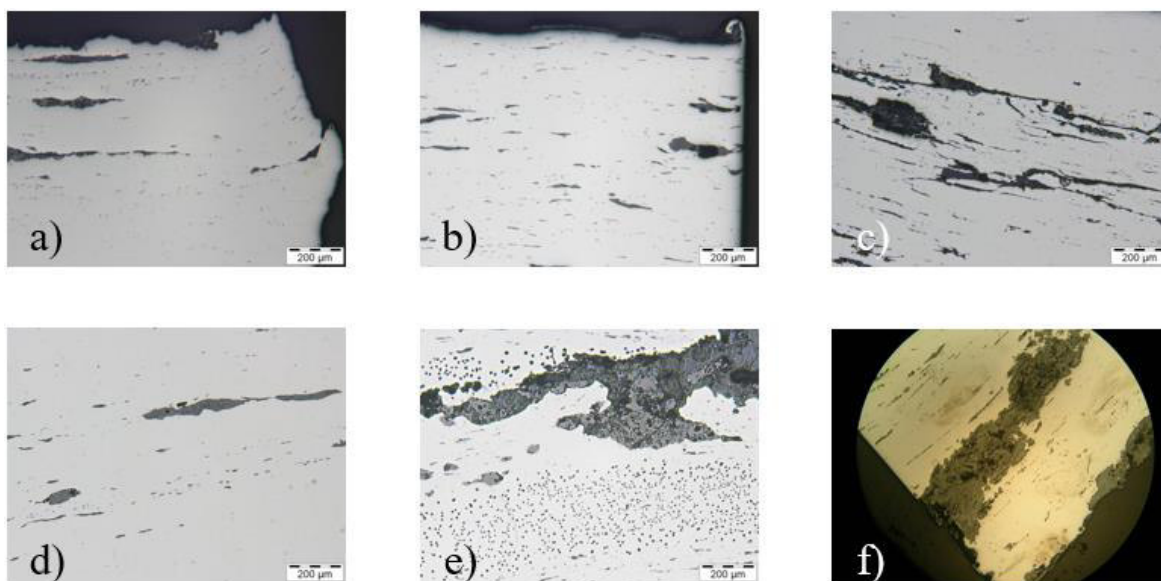


Figura 5.11 – Aspectos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de escórias: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A2; d) Amostra B-A3; e) Amostra B-A7; f) Amostra B-A8

Nas amostras PLC, LCD, PR-1 também se verificou a presença de escórias. Particularmente nas amostras PLC e PR-1, Figura 5.12 a) e c), foi notório o seu elevado índice de severidade. Já na amostra LCD, Figura 5.12 b), a presença de escórias era substancialmente menor.

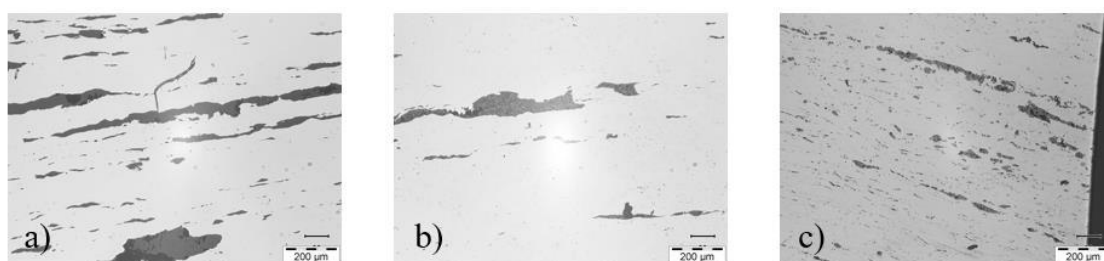


Figura 5.12 – Aspectos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de escórias: a) Amostra PLC; b) Amostra LCD; c) Amostra PR-1

A observação das amostras B-A1 e CG-1, Figura 5.13 a) e b), não revelaram a presença de escórias, mas sim de inclusões, apresentando morfologias características de óxidos. Esta diferença constitui uma indicação da distinta natureza destas amostras. Provavelmente serão aços que possuem inclusões ainda de grandes dimensões e com um elevado índice de severidade em resultado do processo de fabrico do material.

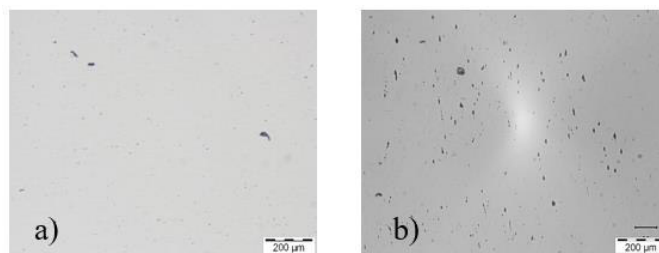


Figura 5.13 – Aspetos de pormenor dos provetes em secção de corte longitudinal ilustrando a morfologia e severidade de inclusões: a) Amostra B-A1; b) Amostra CG-1

Nas amostras PR-2 e PR-4, as escórias/inclusões não foram caracterizadas morfologicamente devido a presumivelmente pertencerem a componentes de ferro fundido produzidos por vazamento; no entanto as observadas apresentam-se uniformemente distribuídas.

5.2.2 Distribuição de escórias

A distribuição das escórias presentes nas amostras foi analisada nas secções de corte transversal, Figura 5.14. Observou-se que as escórias presentes nas amostras ISA-A2, B-A2 e B-A3, Figura 5.14 b), d) e e), se encontravam uniformemente distribuídas em toda a secção transversal do prego. No entanto, noutras amostras, nomeadamente ISA-A1, B-A7 e B-A8, observou-se que as escórias, se concentravam preferencialmente em zonas restritas. A amostra ISA-A1, Figura 5.14 a), mostrava a presença de escórias alinhadas e de forma mais concentrada aproximadamente ao centro da secção. Já as amostras B-A7 e B-A8, Figura 5.14 f) e g), mostravam a presença de escórias de grandes dimensões, aflorando à superfície. Dada a dimensão destas escórias é exetável que os pregos possam ter sido manufacturados ou então produzidos por um processo industrial mal controlado.

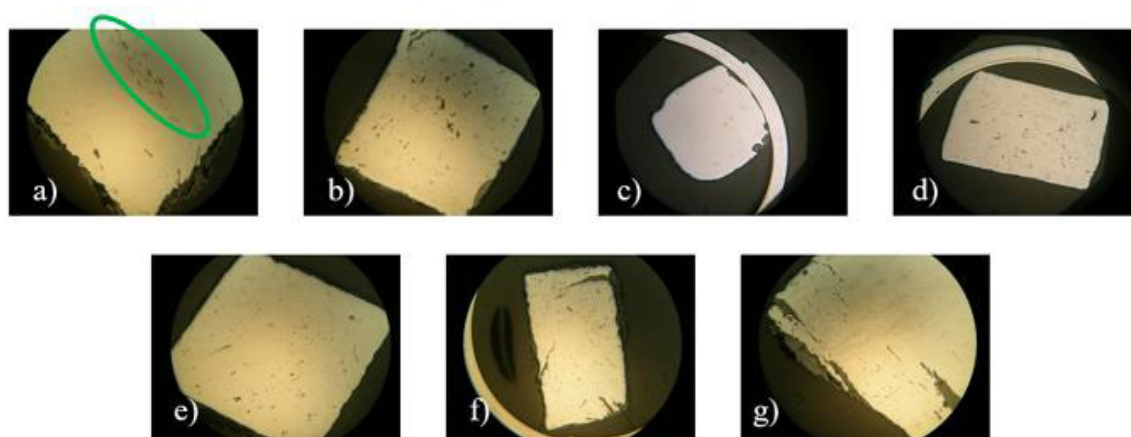


Figura 5.14 – Aspetos de pormenor mostrando a distribuição das escórias em secções de corte transversal das amostras: a) Amostra ISA-A1; b) Amostra ISA-A2; c) Amostra B-A1; d) Amostra B-A2; e) Amostra B-A3; f) Amostra B-A7; g) Amostra B-A8

Analogamente, no que respeita as amostras PLC, PR-1 e LCD é possível observar a distribuição uniforme das escórias nas amostras PLC e PR-1 Figura 5.15 a) e b); no entanto apresentam-se relativamente alinhadas. A amostra LCD, Figura 5.15 c), acaba por ter uma distribuição de escórias similar à apresentada para a amostra B-A3.

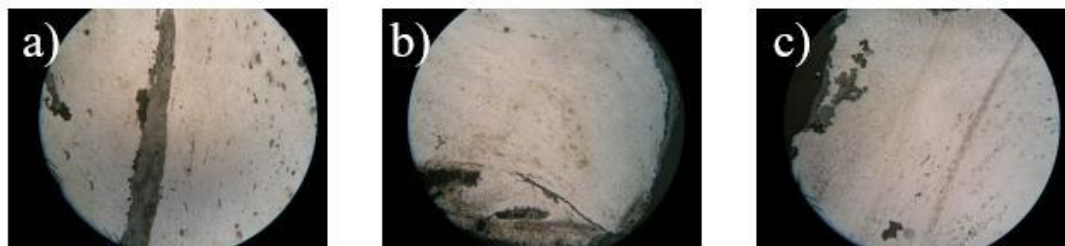


Figura 5.15 – Aspetos de pormenor evidenciando a distribuição de escórias das amostras: a) Amostra PLC; b) Amostra PR-1; c) Amostra LCD

Nas amostras B-A1, Figura 5.14 c), e CG-1, à semelhança do referido na análise da sua secção longitudinal, regista-se a presença de inclusões. Este facto constitui mais uma indicação de que o material deve ser aço. Dada a presença de um elevado índice de severidade de inclusões, pode assim ter sido fabricado através dos processos iniciais de produção industrial do aço.

5.3 Caracterização microestrutural após o ataque químico

Esta secção integra os resultados de caracterização microestrutural após ter sido efetuado o ataque químico dos provetes de secções de corte transversal e longitudinal com Nital 5%, conforme procedimento explicado em 4.4.2.

Revelada a microestrutura das amostras, nas secções de corte transversal procedeu-se à análise do tamanho de grão. Os grãos foram classificados por comparação de acordo com a norma ASTM E112-13 (ASTM, 2015b), com recurso a uma escala. Esta classificação é crescente de 1 a 8, em que o 1 corresponde ao grão maior e o 8 ao grão mais fino, Figura 5.16. Adicionalmente, procedeu-se à identificação de cada um dos tipos de grão que constituem estes elementos por comparação com as microestruturas presentes no Metals Handbook - Atlas of microstructures of industrial alloys (1972).

Cada uma das diferentes amostras apresentava heterogeneidade no tamanho de grão ao longo da secção. A amostra ISA-A1, de matriz ferrítica, foi classificada como conteúdo tamanho de grão 3/4, de forma homogénea por toda a superfície. Por sua vez, a amostra ISA-A2 apresentava também uma matriz ferrítica, mas com tamanho de grão 4/5.

A análise da amostra B-A1, que já havia dado indicações de corresponder a um aço, reforçou essa hipótese por ter um tamanho de grão 8 homogéneo em toda a secção. Esta amostra revelava uma matriz ferrítica e ainda a presença de alguns carbonetos nas fronteiras de grão para além de perlite não resolvida.

Este resultado confirmou a hipótese deste prego ter sido produzido por meios industriais. A amostra B-A2 apresentava uma matriz ferrítica, com tamanho de grão 3/5, com presença de cementite e carbonetos.

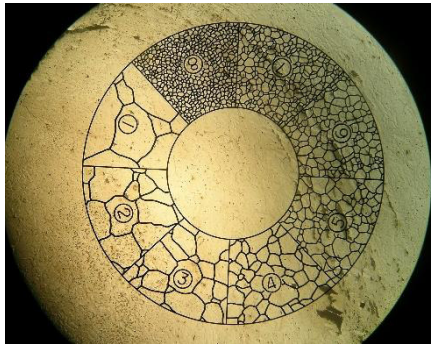


Figura 5.16 – Ilustração da escala de classificação do grão

Por sua vez, a análise efetuada à amostra B-A3, revelou uma matriz ferrítica, com presença de perlite junto à superfície e ainda de carbonetos com uma distribuição muito pouco uniforme. O centro da secção apresentava tamanho de grão 3/4.

A amostra B-A7 apresentava uma matriz ferrítica, com presença de perlite e carbonetos, com tamanho de grão 7/8, particularmente junto das escórias, sendo que nas zonas mais afastadas destas o tamanho de grão era 6. Quanto à classificação das fases, esta amostra acaba por ter características similares às da amostra B-A3. Já na amostra B-A8 as características microestruturais são similares às das duas amostras anteriores no que se refere às fases observadas; no entanto, é notória a diferença registada num dos lados da amostra. Na zona central da secção transversal o tamanho de grão era variável de 2 a 5 (assinalado a verde), sendo que nas extremidades a perlite dificultava a avaliação do tamanho de grão que esteve na sua origem, a azul (Figura 5.17).

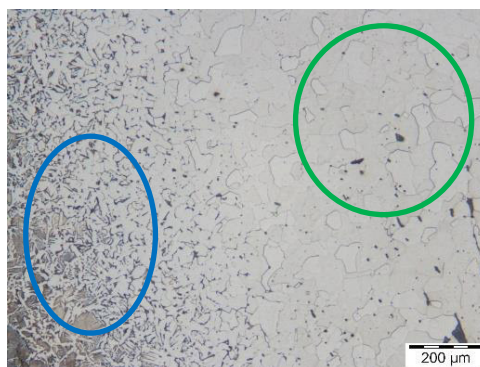


Figura 5.17 – Aspetos de pormenor ilustrando as diferenças microestruturais observadas na amostra B-A8: verde – matriz ferrítica numa zona central da secção; azul – ferrite com perlite

A amostra PLC possuía uma matriz ferrítica, com a presença de perlite mal resolvida ou eventualmente a presença de cementite esferoidal, com tamanho de grão médio, classificado como 4, 5 e 6. A amostra LCD,

Figura 5.18, de grão ferrítico e perlítico com existência de carbonetos nas fronteiras de grão apresentava tamanho de grão ferrítico 2, 3 e 4 nas zonas interiores da secção transversal da amostra. Nesta amostra verificou-se adicionalmente a presença de bainite e de zonas com perlite grosseira.

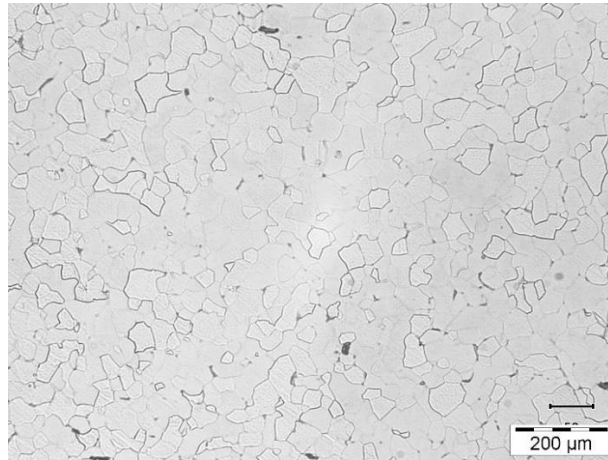


Figura 5.18 – Microestrutura da amostra LCD

As amostras relativas ao caso de estudo mencionado em 4.1.5 podem ser divididas em 2 grupos distintos. As amostras PR-2 e PR-4 que integram o primeiro grupo, apresentavam uma matriz perlítica com ferrite especialmente junto da grafite Figura 5.19. A grafite apresentava diferentes morfologias. A amostra PR-1 apresentava uma matriz ferrítica, enquanto a amostra PR-3 apresentava também uma matriz ferrítica, mas com a presença de perlite e de carbonetos. As amostras PR-1 e PR-3 apresentavam tamanhos de grão 5 e 6 no caso da primeira e 7 e 8 na segunda.

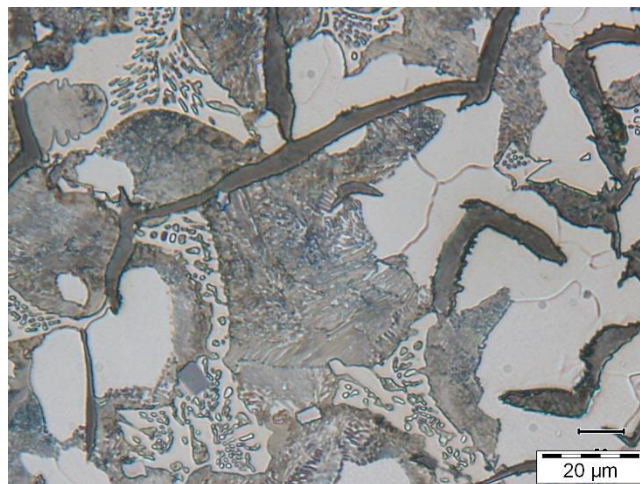


Figura 5.19 – Microestrutura da amostra PR-2

A amostra CG-1 revelou uma matriz perlítica com ferrite exibindo em certos locais uma microestrutura instável/intermediária.

5.4 Análise microscópica e espectroscópica complementar

De acordo com o procedimento indicado em 4.4.3, foram analisadas no MEV as amostras ISA-A1, ISA-A2, B-A8, LCD, PLC e PR-2, procedendo-se à observação da morfologia e caracterização dos produtos de corrosão. Na Figura 5.20 a) encontra-se um aspeto de pormenor da amostra ISA-A1 com os respetivos espectros EDS, b) e c).

No espetro 1, Figura 5.20 b) da matriz do prego, registou-se a presença maioritária de ferro. No entanto, o espetro 2, Figura 5.20 c), correspondente a análise realizada nas proximidades da superfície da amostra sobre os produtos de corrosão, revelou como elementos maioritários o oxigénio e o ferro, confirmando que os produtos são essencialmente constituídos por óxidos de ferro. Estes produtos incluem ainda fósforo (P), silício (Si) e cloro (Cl) que deverão ser provenientes da matriz metálica (P), das escórias (Si) e do meio ambiente (Cl e Si).

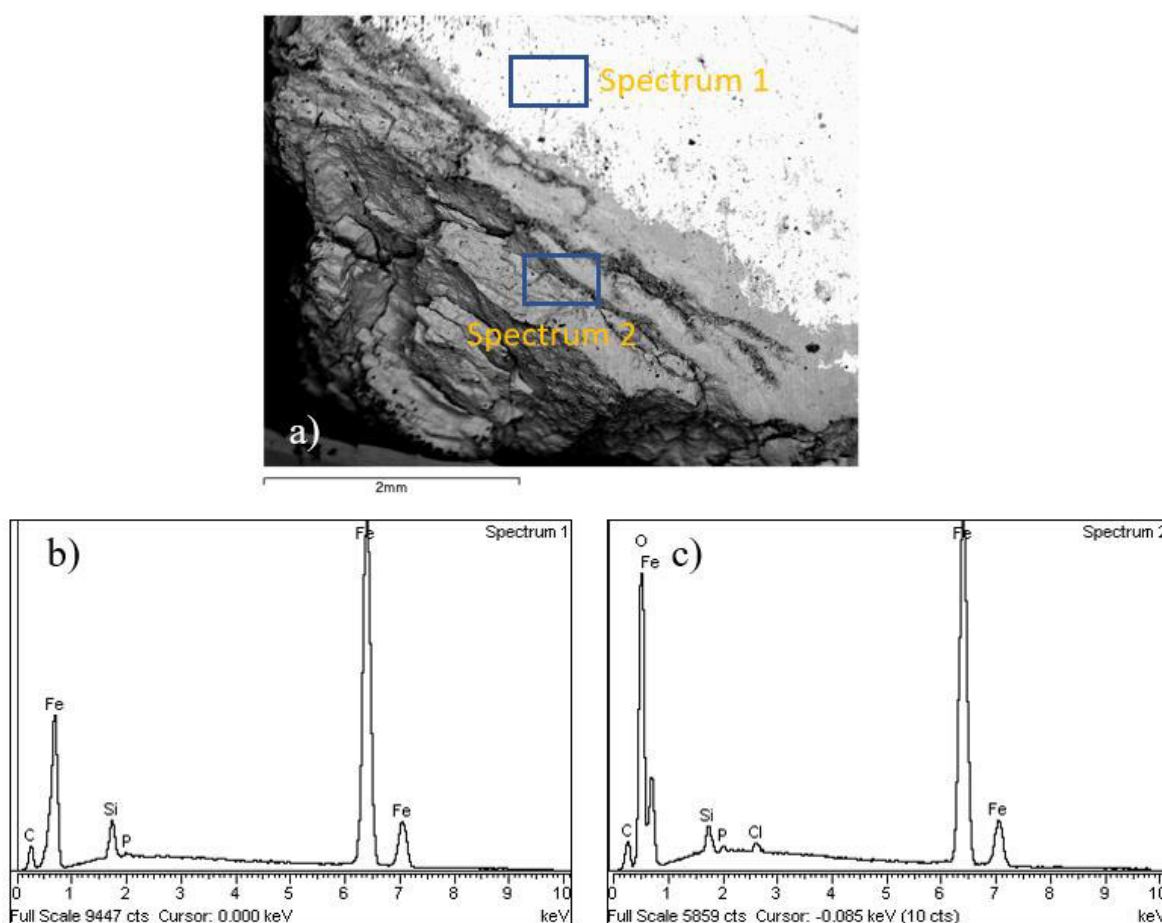


Figura 5.20 – a) Aspeto de pormenor da amostra ISA-A1 e respetivos espectros EDS: b) Espetro EDS 1; c) Espetro EDS 2

Adicionalmente, nesta amostra foi ainda observada no MEV a superfície de fratura, cujo aspeto de pormenor se ilustra na Figura 5.21. Este mostra modos de fratura frágeis, intergranular e transgranular com facetas de clivagem.

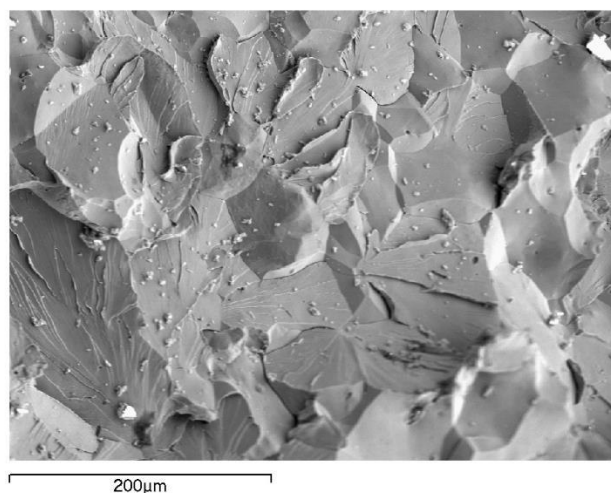


Figura 5.21 – Aspeto de pormenor da superfície de fratura da amostra ISA-A1 observado ao MEV

A análise semi-quantitativa apresentada na Figura 5.22 mostra a variação dos elementos químicos detetados nas zonas analisadas da amostra ISA-A1, indicadas na Figura 5.20 a).

Note-se que estes resultados de análise química semi-quantitativa, tais como os apresentados na Figura 5.22, são informativos sobre os elementos químicos que compõem a amostra e permitem detetar variações de composição especialmente se estas forem significativas.

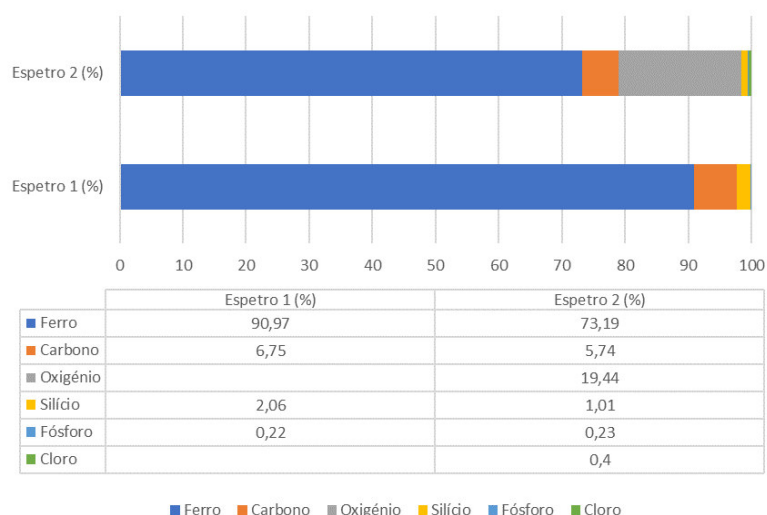


Figura 5.22 – Resultados da análise semi-quantitativa dos espectros 1 e 2 da amostra ISA-A1

Foi realizada a análise das restantes amostras referidas, cujos aspetos de pormenor se apresentam nas seguintes figuras.

A Figura 5.23 mostra um aspeto de pormenor da amostra ISA-A2, e o respetivo espectro EDS, de uma área com produtos de corrosão com uma morfologia de aspeto cristalino. Deste espectro é possível verificar

a forte presença de ferro (Fe) na ordem dos 75 %, uma vez que se trata do principal elemento constituinte do material, mas também um pico de oxigénio (O) de 14 %. Detetam-se ainda outros elementos, tais como o silício, cloro e cálcio para além do ouro.

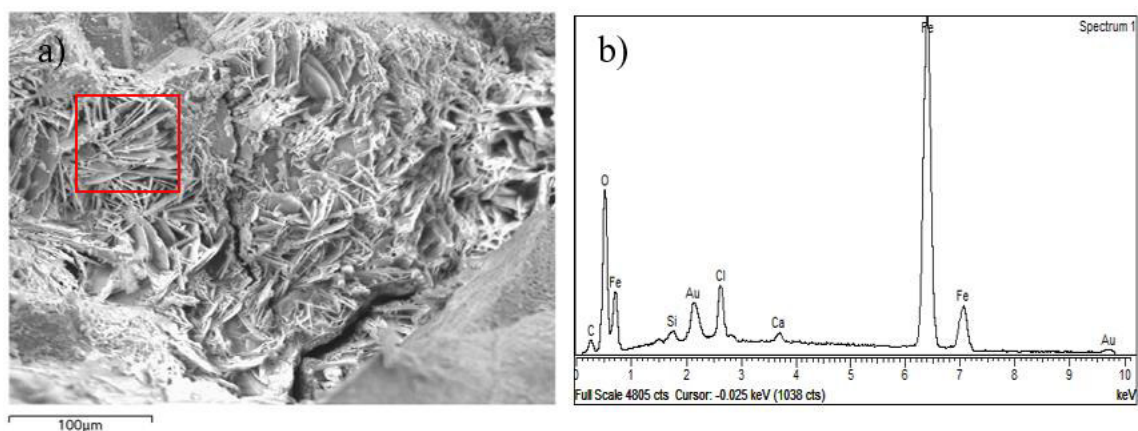


Figura 5.23 – a) Aspeto de pormenor da amostra ISA-A2 observado no MEV e b) respetivo espetro EDS

A análise da amostra B-A8 foi efetuada em três zonas distintas, que se encontram indicadas na Figura 5.24 a). Verificou-se semelhança nos resultados de análise dos espetros EDS dos três locais selecionados, tal com se exemplifica com o espetro apresentado na Figura 5.24 b).

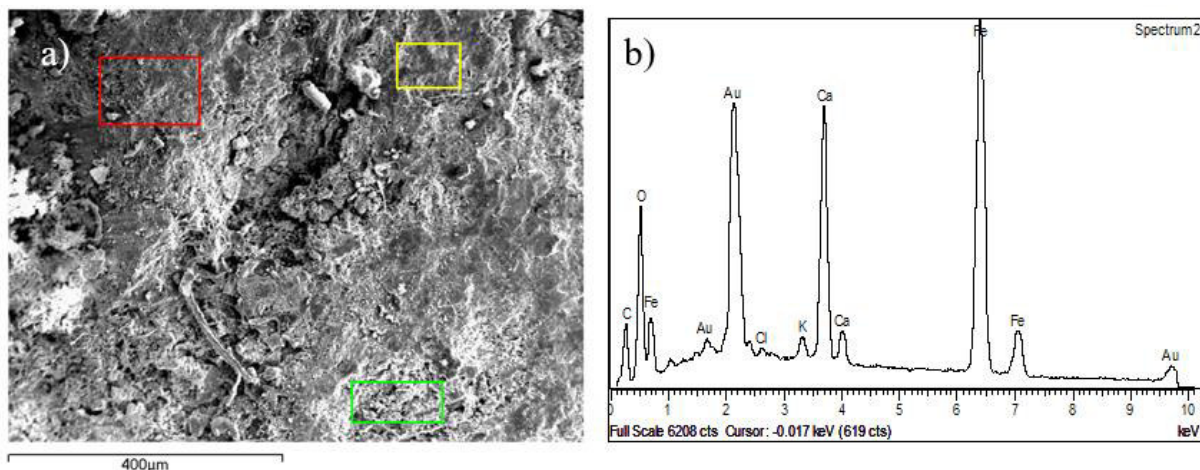


Figura 5.24 – a) Aspeto de pormenor da amostra B-A8 e b) exemplo de espetro obtido (na zona assinalada a verde)

Neste espetro (Figura 5.24 b)) é possível verificar a presença maioritária de ferro e de oxigénio, evidenciando a presença de produtos de corrosão. No entanto, é possível observar também a presença de cálcio, que revela o contacto com materiais inorgânicos calcários.

A análise no MEV da amostra PLC foi efetuada na região assinalada na Figura 5.25 a). O espetro EDS desta amostra, apresentado na Figura 5.25 b), deteta maioritariamente ferro e oxigénio indicando a existência

de produtos de corrosão na superfície. De notar ainda a deteção de cloro que neste caso terá contribuído para a deterioração registada.

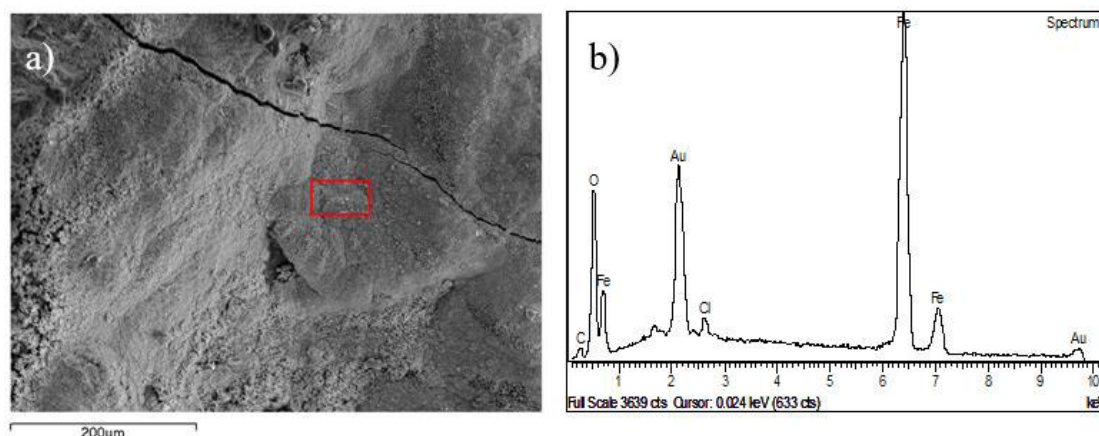


Figura 5.25 – a) Aspeto de pormenor da amostra PLC e respetivo b) espetro EDS

Na amostra LCD, realizaram-se diversas análises em distintas zonas, tais como as assinaladas na Figura 5.26 a).

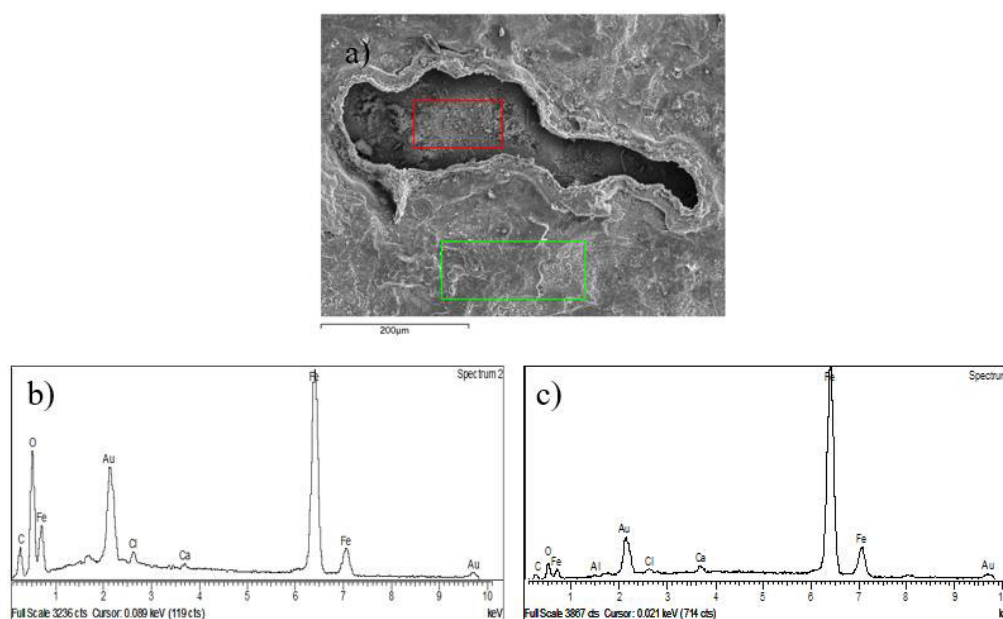


Figura 5.26 – a) Aspeto de pormenor da amostra LCD e respetivos espetros EDS: b) área assinalada a vermelho; c) área assinalada a verde

Num dos espetros EDS, Figura 5.26 b), verifica-se um elevado teor de oxigénio devido aos produtos de corrosão, enquanto no outro, Figura 5.26 c), se regista uma diferença no teor de oxigénio hipoteticamente devido a se tratar de uma camada sob os produtos de corrosão mais expostos ao meio ambiente, potencialmente protegida e favorecendo a formação de produtos com menos oxigénio.

A amostra PR-2, incluída na Figura 5.27 a), destaca-se por ser um material distinto dos anteriores segundo a análise efetuada em 5.3, tal como se comprova através dos resultados da análise que revela a

presença de elementos tais como o silício e o cálcio em teores aproximados de 4 %, bem como um teor de carbono relativamente alto, 17 %. Estes resultados devem-se à amostra ter um sistema de proteção à corrosão de natureza orgânica. O ferro e naturalmente o oxigénio são os outros elementos maioritários, Figura 5.27 b). São ainda detetados cálcio, potássio, alumínio, cloro, sódio e o magnésio.

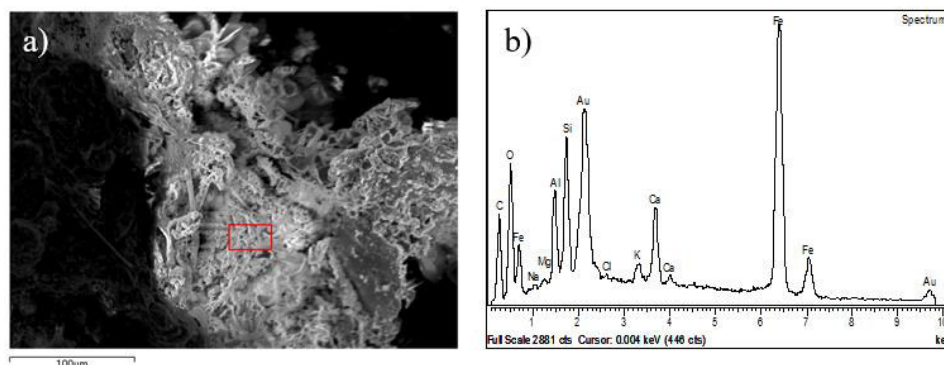


Figura 5.27 – a) Amostra PR-2 com identificação da zona analisada; b) Espetro EDS

5.5 Determinação da microdureza

De acordo com o procedimento descrito em 4.4.4, procedeu-se à caracterização da microdureza das amostras.

Na Figura 5.28, exemplifica-se o polígono gerado pela indentação da amostra no ensaio de microdureza. Nesta figura encontram-se assinaladas as diagonais, D1 e D2, de acordo com o descrito em 4.4.3, que servem de base à determinação permitindo caracterizar o material.

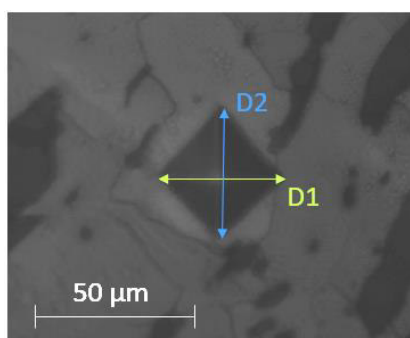


Figura 5.28 – Polígono formado pela indentação da amostra ISA-A1 no ensaio de microdureza

Procura-se nesta secção mostrar a diversidade de valores de microdureza obtidos, através de gráficos comparativos nos provetes de secções longitudinal e transversal, tais como o da amostra B-A3 abaixo incluído a título exemplificativo das variações existentes.

A caracterização efetuada no provete da secção longitudinal da amostra B-A3 revelou ligeiras oscilações nos valores de microdureza medidos, sendo o valor máximo registado de 236 HV e o mínimo de 150 HV.

Foram avaliadas duas áreas com características microestruturais distintas, nomeadamente as fases analisadas perlítica e ferrítica, respetivamente para os grupos 1 e 2. Para 1, registou-se uma média de 209 HV; já para 2 a média foi de 168 HV, conforme se mostra na Figura 5.29.

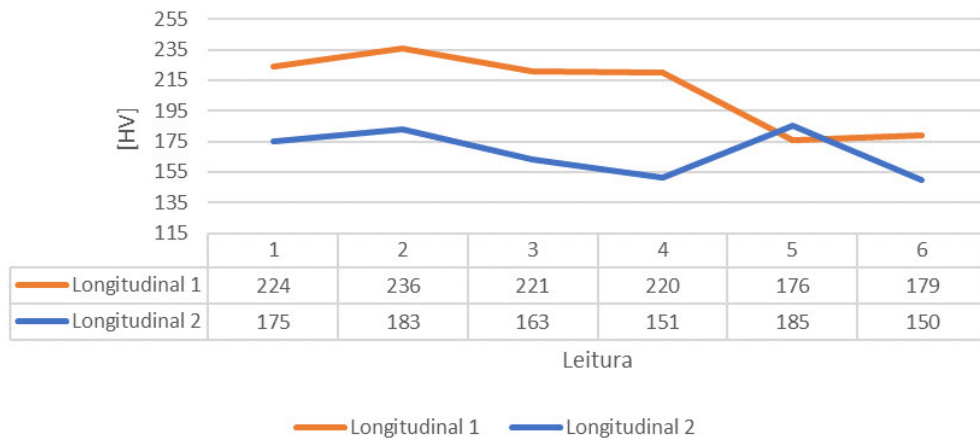


Figura 5.29 – Resultados de microdureza (HV) medida na secção longitudinal na amostra B-A3 em diferentes áreas: 1 – fase perlítica; 2 – fase ferrítica

Por sua vez, a análise no provete de secção transversal, revela valores máximo e mínimo de 261 HV de 127 HV, respetivamente para as fases perlítica e ferrítica, registando-se neste caso uma maior variação entre estes valores. A média de valores obtidos situa-se nos 240 HV para 1 e de 137 HV para 2 (Figura 5.30).

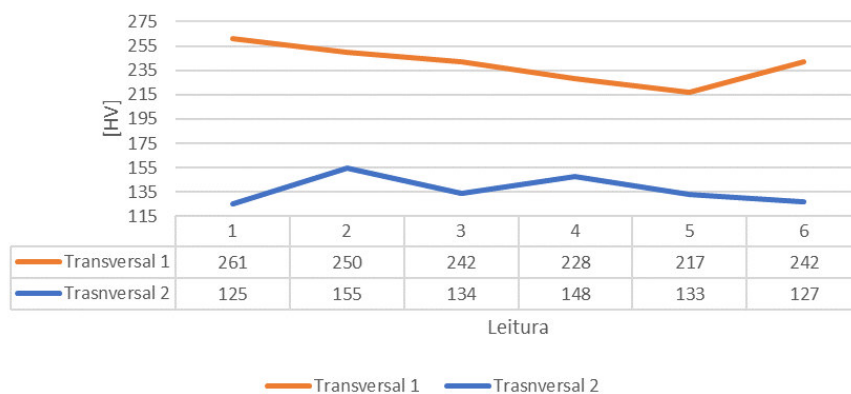


Figura 5.30 -- Resultados de microdureza (HV) medida na secção transversal na amostra B-A3 em diferentes áreas: 1 – fase perlítica; 2 – fase ferrítica

Na Tabela 5.1 apresenta-se o resumo dos valores de microdureza das amostras em ambas as secções analisadas (longitudinal e transversal), procurou-se escolher duas áreas com distintas características microestruturais.

Tabela 5.1 – Resumo de resultados das microdurezas

Amostra	Zona	Longitudinal				Transversal			
		Mínimo (HV)	Máximo (HV)	Média (HV)	Desvio Padrão (HV)	Mínimo (HV)	Máximo (HV)	Média (HV)	Desvio Padrão (HV)
ISA-A1	1	178	218	199	11	128	165	146	13
	2	182	227	205	14	131	168	152	12
ISA-A2	1	142	205	180	18	143	204	172	22
	2	152	205	179	17	156	202	185	13
B-A1	1	197	244	224	17	163	220	191	16
	2	196	242	226	14	167	205	186	12
B-A2	1	174	212	187	12	130	180	155	17
	2	176	223	200	14	139	183	160	16
B-A3	1	150	185	168	13	217	261	240	13
	2	176	236	209	21	125	155	137	10
B-A7	1	166	251	225	26	144	242	206	35
	2	192	244	221	19	159	188	177	9
B-A8	1	117	138	128	6	120	135	129	6
	2	120	169	133	16	197	230	213	9
CG-1	1	254	272	262	6	263	287	277	7
	2	246	281	270	10	307	345	323	14

Conforme se observa, os valores de microdureza apresentam variações consideráveis entre as diferentes amostras. Por exemplo a amostra ISA-A2 apresenta valores médios de microdureza, medida em provetes de secção longitudinal e transversal, na ordem dos 180 HV, enquanto a amostra CG-1 apresenta valores de microdureza na secção longitudinal na ordem dos 265 HV e na secção transversal de 325 HV. Esta característica é consequência das diferenças significativas das propriedades dos microconstituintes de cada uma das amostras e também decorrentes do processo de fabrico.

No que respeita à análise da microdureza nas diferentes zonas analisadas, a amostra B-A3 constitui o exemplo mais expressivo da variabilidade das propriedades dos seus microconstituintes e da sua heterogeneidade.

5.6 Síntese de resultados

Concluída a campanha experimental é possível com base na análise integrada dos resultados, tecer algumas considerações relativamente às propriedades dos materiais ferrosos, caracterizados no estudo efetuado, essencialmente dos componentes de fixação utilizados na construção, na cidade de Lisboa, especialmente a partir do séc. XVII, e enunciar algumas hipóteses que serviram de base à sua possível datação. Foram analisadas catorze amostras de um rol inicial de aproximadamente 200, provenientes de seis locais distintos da cidade de Lisboa.

As amostras foram observadas visual e macrograficamente para registar as suas características geométricas e avaliar as consequências, a nível morfológico e topográfico, da deterioração sequente das

diferentes condições de exposição ao longo da sua vida. Informação complementar foi obtida através da caracterização química dos produtos de corrosão em MEV/EDS.

Estas amostras foram também sujeitas a ensaios que visavam a caracterização química e microestrutural dos materiais, bem como a obtenção de informação adicional sobre as propriedades dos seus microconstituintes que, por sua vez, determinam as suas próprias propriedades mecânicas.



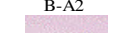
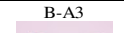
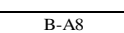
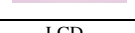





Na Tabela 5.2 apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios efetuados nas diferentes amostras. Procedendo-se à análise integrada dos diferentes resultados é possível inferir sobre a origem das amostras, e obter informações relevantes sobre as características dos materiais metálicos ferrosos existentes na época.

Com base nos dados apresentados é possível caracterizar as amostras que são objeto de estudo nesta dissertação e correlacionar os diversos parâmetros (apresentados em cada uma das colunas), para inferir sobre a provável origem das distintas amostras. Esta informação permite compreender e justificar a diversidade de características registadas nas amostras estudadas.

Inicialmente, começou-se por recolher informação sobre a proveniência de cada amostra, o que possibilitou indicar um intervalo de início da sua vida útil como componente construtivo. Seguidamente, e de acordo com a bibliografia analisada e referida em 5.1.1, procedeu-se à sua datação de acordo com as características geométricas, bem como a qualidade de acabamento de cada peça e a antecipada forma de produção.

Em síntese os pregos pudelados totalmente manufaturados foram produzidos exclusivamente até cerca de 1790, época em que foi iniciada a produção de pregos por corte mecanizado de barras de ferro. Alterações significativas na forma de produção, desde 1790 até cerca de 1890, tiveram consequências na geometria, nos acabamentos (deformações) e nas características microestruturais dos pregos que podem ser muito úteis à datação neste período. Contudo, os componentes manufaturados provavelmente terão sido utilizados em simultâneo, durante um período alargado, com os pregos cortados por processos mecanizados devido às suas características. Outro aspeto também documentado na literatura era o grande valor deste tipo de componentes na época, especialmente antes de 1800, que por si só justificava a reutilização destes componentes. Na literatura é referida a destruição de edifícios por fogo apenas para reutilização dos valiosos componentes de fixação, ao ponto de serem criadas leis a proibirem estas ações de destruição (Nelson, 1968).

Tabela 5.2 – Resumo de informações relevantes a par com os resultados obtidos e hipóteses decorrentes da sua análise

Tipo de análise Identificação	Data de construção do edifício	Geometria		Degradação			Química	Microestrutura				Microdureza (HV)		Origem	
		Cabeça	Corpo (secção)	Gravidade	Topografia	Morfologia	Química dos produtos de corrosão	Presença de escórias	Distribuição de escórias	Tamanho de grão da matriz	Fases	Transversal	Longitudinal	Datação	Tipo de produção
ISA-A1 	1767-1787	Sem Cabeça	Quadrada	Elevado	Irregular	Cinzenta	Ferro > 73% Carbono > 6% Oxigénio > 19%	Significativa	Muito concentradas	3 e 4	Matriz Ferrítica	128-168	178-227	-	Manual
ISA-A2 	1767-1787	Circular/piramidal	Quadrada	Moderado	Irregular	Castanha-Acinzentada	Ferro > 75% Carbono > 3% Oxigénio > 14%	Significativa	Distribuição uniforme	4 e 5	Matriz Ferrítica	143-204	142-205	1731-1836	Manual
B-A1 	> 1755	Circular/plana	Circular	Reduzido	Irregular	Cinzenta	-	Inexistente (inclusões)	-	8	Matriz Ferrítica com carbonetos e perlite	163-220	197-244	> 1891	Industrial
B-A2 	> 1755	Achatada	Rectangular	Moderado	Irregular	Castanha-Acinzentada	-	Significativa	Distribuição uniforme	3 a 5	Matriz Ferrítica com cementite e carbonetos	130-183	174-223	-	Industrial
B-A3 	> 1755	Circular/plana	Quadrada	Moderado	Irregular	Castanha-Acinzentada	-	Significativa	Distribuição uniforme	3 e 4 no interior; 7 na extremidade	Matriz Ferrítica com perlite	125-261	150-236	1731-1836	Manual
B-A7 	> 1755	Circular/plana	Quadrada	Elevado	Irregular	Acastanhada	-	Muito elevada	Distribuição uniforme/Irregular	7 e 8 junto às escórias; 6 no restante	Matriz Ferrítica com carbonetos e perlite	144-242	166-251	1790-1836	Industrial
B-A8 	> 1755	Circular/plana	Quadrada	Elevado	Irregular	Acastanhada	Ferro > 36% Carbono > 41% Oxigénio > 16%	Muito elevada	Distribuição uniforme/Irregular	7 e 8 na extremidade; 2 a 5 no interior	Matriz Ferrítica com carbonetos e perlite	120-230	117-169	1731-1836	Manual
LCD 	< 1872	Circular/plana	Rectangular	Elevado	Irregular	Acastanhada	Ferro > 59% Carbono > 7% Oxigénio > 15%	Significativa	Distribuição uniforme	2 a 4 no interior; 7 na extremidade	Matriz Ferrítica e Perlítica	-	-	1731-1805	Manual
PLC 	< 1755	Circular	Circular	Elevado	Irregular	Cinzenta	Ferro > 64% Carbono > 2% Oxigénio > 18%	Muito elevada	Distribuição uniforme	4 a 6	Matriz Ferrítica com perlite	-	-	-	Manual
PR-1 	> 1700	-	Quadrada	Moderado	Irregular	Cinzenta	-	Muito elevada	Localizada	5 e 6	Matriz Ferrítica e Perlítica (rebitagem)	-	-	-	Industrial
PR-2 	> 1700	-	-	Reduzido	Irregular no revestimento	Revestido	Ferro > 45% Carbono > 17% Oxigénio > 12%	-	-	-	Grafite e Esteadite	-	-	-	Industrial
PR-3 	> 1700	Circular/plana	Circular Roscado	Moderado	Irregular	Cinzenta	-	Significativa	Distribuição uniforme	7 e 8	Matriz Ferrítica com carbonetos e perlite	-	-	-	Industrial
PR-4 	> 1700	-	-	Elevado	Irregular	Cinzenta	-	-	-	-	Grafite e Esteadite	-	-	-	Industrial
CG-1 	> 1854	Plana	Quadrada	Moderado	Irregular	Castanha-Acinzentada	-	Quase inexistente	-	-	Matriz Perlítica com ferrite	263-345	246-281	-	Industrial

A literatura consultada nesta dissertação foi maioritariamente de origem americana pelo que uma pesquisa mais detalhada a nível europeu e, eventualmente, em Portugal seria útil para verificar a possível datação das diferentes áreas de intervenção no património construído, que em muitos dos casos não tem registos que sirvam de apoio à sua conservação. A informação técnica disponível em Portugal suficientemente detalhada sobre a evolução histórica da manufatura e produção industrial do ferro em Portugal é escassa, desconhecendo-se, portanto, o seu desfasamento, nas diferentes épocas, comparativamente com outros países.

Mesmo com base exclusiva em documentação que poderá não traduzir a realidade da evolução tecnológica em Portugal, julga-se ser possível identificar nas amostras de pregos estudadas características que permitem distinguir se terão sido integralmente manufaturados ou produzidos industrialmente, bem como colocar em hipótese possíveis períodos de início de vida útil na construção.

No caso dos achados arqueológicos, foi apenas considerada a data de construção dos edifícios construídos nesses sítios. Contudo, a integração com informação mais detalhada dos trabalhos arqueológicos seria fundamental ao objetivo de datar o tempo de vida dos artefactos. Esta não foi contudo exequível no tempo disponível para a realização da presente dissertação.

Como ferramenta de datação deveriam ser consideradas ainda outras características, tais como marcas da produção, que só poderiam ser avaliadas após remoção integral dos produtos mas, nesse caso, a validade da avaliação dependeria ainda do respetivo estado de conservação.

Considera-se que o estudo de vários componentes extraídos de um mesmo local, com identificação precisa do tipo de prego e respetiva caracterização, complementada com informação histórica, deverá integrar a maioria dos fatores essenciais a uma datação mais precisa.

As restantes características avaliadas, tais como a gravidade de degradação, as características microestruturais, incluindo a presença e distribuição de escórias, a classificação do tamanho de grão e as fases, permitiram complementar a informação prévia com informação mais precisa sobre a natureza do material e as prováveis técnicas produtivas. Esta caracterização, a par com a determinação da microdureza dos materiais, permitiu ainda verificar as alterações produzidas pelas diferentes formas de produção dos componentes de materiais ferrosos.

A informação recolhida pelas técnicas de caracterização microestrutural e de medição da microdureza contribuiu ainda para a melhoria de conhecimento sobre as características dos materiais construtivos, sendo particularmente útil em avaliações expeditas efetuadas *in situ* de forma não destrutiva de elementos construtivos que não possam ser caracterizados destrutivamente por motivos funcionais ou históricos.

A amostra ISA-A1, pertencente à igreja de Santo António, que de acordo com a construção do edifício deverá ter sido produzida entre os anos de 1767 e 1787, encontrava-se consideravelmente degradada, apresentando uma qualidade de acabamento com muitas imprecisões, pelo que deverá ter sido integralmente manufaturada. No que respeita à sua caracterização microestrutural, a amostra apresentava uma quantidade de escórias significativas, com uma distribuição heterogénea numa matriz ferrítica sendo, portanto, de ferro pudelado.

Também pertencente à igreja de Santo António, a amostra ISA-A2 também deverá ter sido produzida no período correspondente à construção do edifício, entre os anos de 1767 e 1787, e assim tratar-se de um elemento original. Apresentava um acabamento de fraca precisão, fruto de produção manual. A amostra apresentava uma quantidade significativa de escórias com distribuição uniforme na secção, de matriz ferrítica e, portanto, de ferro pudelado.

No que respeita ao edifício sede do Banco Millennium BCP, apresentado em 4.1.2, cuja data de construção do edifício é posterior a 1755, os resultados das cinco amostras analisadas revelam que estas são de distinta proveniência. A amostra B-A1, que de acordo com a sua geometria deverá ter sido produzida após 1891, apresentava uma qualidade de acabamento muito precisa e uma matriz ferrítica com um grão consideravelmente fino e presença de carbonetos e perlite. Estas características, para além da deteção de inclusões, apesar de algumas serem óxidos de maiores dimensões, bem como a sua microdureza relativamente elevada, demonstram tratar-se de um componente oriundo de produção industrial, mais precisamente de um aço pouco limpo. A amostra B-A2, similar à B-A1 no que respeita a qualidade acabamento, revelou a presença de algumas escórias distribuídas uniformemente na secção transversal do corpo do prego. O seu grão grosseiro e a sua matriz ferrítica com carbonetos e cementite revelaram tratar-se um ferro pudelado produzido por corte industrialmente. A amostra B-A3, apesar de apresentar um acabamento preciso, deverá ter sido ainda produzida manualmente. A presença de escórias, distribuídas uniformemente na secção do corpo do prego, é significativa. A matriz ferrítica com grão de tamanho 3 e 4 no interior da amostra, apesar dos carbonetos e da perlite observados nas proximidades da superfície, mostra tratar-se de um ferro pudelado.

A amostra B-A7, que de acordo com a sua geometria remonta ao período de 1790-1836, apresentava um acabamento pouco preciso e um elevado nível de degradação. O corte efetuado transversalmente à amostra revela que a mesma foi produzida já com recurso a instrumentos de corte. A presença de uma grande quantidade escórias, distribuídas uniformemente e de grandes dimensões, numa matriz ferrítica, de grão consideravelmente fino, com carbonetos e perlite evidenciados pelos valores de microdureza relativamente altos, revelam que a amostra, dado o seu expectável período de fabrico, se trata de um ferro pudelado. Por último, a amostra B-A8, cuja geometria também indica que será oriunda do período de 1731-1836, apresentava alguma precisão de produção ainda que se encontrasse bastante degradada. Esta amostra apresentava uma elevada quantidade de escórias de grandes dimensões, numa matriz ferrítica, de grão relativamente fino, com carbonetos e perlite. Estas características confirmaram que era um componente de ferro pudelado.

No que respeita ao Largo do Chafariz de Dentro, apresentado em 4.1.3, a data da última intervenção registada remete para 1872. De acordo com a geometria da amostra LCD, esta poderá ter sido produzida no período de 1731-1805: Esta amostra revelou um acabamento muito pouco preciso, para além do elevado estado de degradação. As características microestruturais do ferro pudelado incluem escórias distribuídas uniformemente na secção, numa matriz ferrítica de grão grosseiro no interior e perlite nas proximidades da superfície.

Relativamente ao Palácio do Marquês de Marialva, apresentado em 4.1.4, a amostra PLC deverá ter sido manufaturada numa data anterior a 1755, tendo revelado um acabamento impreciso, muitas escórias uniformemente distribuídas na secção, numa matriz de grão ferrítico de tamanho variável entre 4 e 6 com perlite, sendo portanto um ferro pudelado.

O Palácio da Rosa, referido em 4.1.5, revelou amostras com distintas características. As amostras PR-1 e PR-3, provenientes do mesmo elemento, ambas com um acabamento preciso típico de produção industrializada e nível de degradação moderado, apresentavam escórias numa matriz maioritariamente ferrítica sendo, portanto, ferros pudelados. As amostras PR-2 e PR-4 possuíam uma matriz perlítica com ferrite, esteadite e grafite lamelar, ou seja, produzidas por vazamento em ferro fundido cinzento. A primeira apresentava um reduzido nível de degradação, enquanto na segunda os danos eram moderados.

O sexto e último caso de estudo desta dissertação, a antiga fábrica Schalck, exposta em 4.1.6, remetia para uma data posterior a 1854. A estaca, de acabamento preciso e produzida industrialmente, apresentava um moderado nível de degradação. A amostra tinha uma matriz perlítica com ferrite e baixa severidade de inclusões. A sua microdureza foi a mais alta medida reforçando que a amostra CG-1 se tratava de um aço.

A caracterização microestrutural das amostras de ferro pudelado permitiu verificar que a deformação e o alinhamento de grãos com diferentes características em camadas ocorriam também perpendicularmente ao eixo de desenvolvimento do corpo de cada prego. Este facto justifica as diferenças de microdureza registadas nas variações entre os resultados medidos nas secções transversal e longitudinal, constituindo também mais um fator que foi ponderado na datação dos diferentes componentes.

De acordo com o estudo de Wells (1998) a partir de 1790 a produção industrial de pregos por corte evolui com os progressos registados nas técnicas de fabrico. No América do Norte os processos foram agrupados de acordo com as suas características e consequentes efeitos nos componentes de fixação por estes produzidos, nomeadamente:

1790 a 1820 – cortados do mesmo lado e cabeças manufaturadas

1810 a 1820 – cortados de lados opostos com cabeças manufaturadas

1815 a 1830 – cortados do mesmo lado e cabeças mecanizadas

1820 a 1830 - cortados de lados opostos e cabeças mecanizadas

Desde 1830 - cortados de lados opostos e cabeças mecanizadas mais perfeitas

Desde 1850 verifica-se o desenvolvimento de pregos produzidos a partir de fio de aço. Contudo, estes apenas vieram a substituir preferencialmente os outros tipos de pregos a partir de 1890, devido a questões de otimização do processo produtivo.

Estes processos produtivos formam marcas e deformações no prego que apoiam a sua datação.

Todos os fatores antes indicados apoiam o processo de identificação do tipo de componente e provável origem. Contudo será necessário a recolha de mais dados que reforcem as hipóteses colocadas neste estudo e que permitam propor uma possível evolução nos componentes construtivos de fixação utilizadas em Portugal.

Na prática tem-se verificado que os ferros pudelados apresentam uma boa resistência à corrosão, mantendo-se elementos construtivos e infraestruturas centenárias, de relevante interesse histórico, em utilização com um bom desempenho em termos de resistência aos principais processos de degradação. Interessa, pois, perceber como as características destes materiais determinam o seu bom desempenho, para que se possa não só aumentar o seu tempo de vida útil como melhorar o conhecimento que deverá servir à produção de materiais com propriedades melhoradas.

As amostras de ferro pudelado analisadas mostravam produtos de corrosão com diferentes tonalidades, que normalmente são associadas a uma distinta natureza, por sua vez em resultado das condições de exposição ou das suas próprias características. A morfologia dos produtos na superfície dos componentes metálicos analisados, independente da aparente gravidade da deterioração, parece estar relacionada com a sua química. Os produtos mais escuros são essencialmente constituídos por óxidos de ferro com cloro, para além de carbono proveniente de contacto direto com materiais orgânicos (amostras ISA-A2 e PLC). Os produtos de tonalidade mais clara (amostras B-A8 e PR-2) possuem relativamente mais cloro, bem como outros elementos químicos tais como cálcio, potássio e silício para além do carbono. A análise por EDS é muito útil para identificar condições de exposição diferenciadas e justificar diferenças na resistência aos processos de deterioração, sendo este o principal objetivo na sua utilização na presente dissertação. Os resultados de análise química obtidos constituem apenas indicadores das diferenças mais acentuadas registadas entre os produtos de corrosão formados nos distintos casos estudados, que são fundamentalmente resultado das diferentes condições de utilização/exposição das amostras.

Uma outra vantagem desta técnica é a possibilidade de ser utilizada em ínfimas amostras de produtos de corrosão, ou até na própria amostra de forma não destrutiva, permitindo recolher informação sobre o potencial de proteção/agressividade das espécies que os compõem e decidir de forma mais informada sobre as técnicas de intervenção mais adequadas para a sua conservação.

Com exceção das amostras recolhidas em contexto de estudos arqueológicos, a generalidade das amostras mostraram um bom estado de conservação considerando o respetivo período de vida. A gravidade da deterioração também parece ser mais acentuada nas amostras com uma maior quantidade de escórias e, especialmente, nas áreas que apresentam uma microestrutura alterada localmente.

Salienta-se ainda os resultados da análise efetuada aos produtos de corrosão da amostra de ferro fundido PR-2, que traduzem a natureza da amostra e justificam a sua principal forma de deterioração por corrosão seletiva conforme secção 3.1.2.7.

Uma análise mais detalhada, realizada em diferentes áreas de uma mesma amostra com diferentes níveis de degradação, em amostras idênticas expostas sob distintas condições, ponderando as prováveis condições de exposição, seria necessária para uma discussão mais fundamentada dos fatores que podem estar na origem dos diferentes desempenhos registados, não sendo compatível com o reduzido período de tempo disponível para a presente dissertação de mestrado cujo objetivo primário era a caracterização dos materiais.

Este conhecimento é também essencial para avaliar a necessidade de remover todos os produtos de corrosão, com base nas recomendações de preparação de superfície incluídas nas normas vigentes.

Alegadamente pode-se perder informação histórica e parte na sua natural capacidade de proteção. Por outro lado, nestes produtos podem estar presentes espécies potencialmente agressivas que podem promover o desenvolvimento da degradação.

A adequabilidade das diferentes técnicas disponíveis à adequada conservação dos materiais ferrosos antigos constitui outra das dúvidas que não será possível responder apenas com base no corrente trabalho, sendo necessário trabalho de investigação adicional. Novas metodologias de conservação e restauro também são um tema corrente de discussão.

Os resultados de microdureza mostraram uma certa correlação com a natureza dos diferentes constituintes microestruturais, verificando-se genericamente que as amostras de ferro pudelado nas áreas ferríticas são inferiores às das áreas perlíticas, tal como seria espectável, assim como uma dependência do tamanho de grão, ou seja, registou-se um endurecimento com a diminuição do tamanho de grão. Registaram-se ainda diferenças significativas entre as medições efetuadas em secções transversal e longitudinal nas diferentes amostras, resultado da deformação induzida pelo processo de pudelagem.

As amostras de aço apresentam uma microdureza superior às de ferro e, considerando os valores máximos medidos, a amostra B-A8 será a de menor microdureza. A amostra ISA-A1 revelou uma maior uniformidade microestrutural e portanto de microdureza.

A observação de fases perlíticas, com um maior teor de carbono, em amostras de ferro pudelado é de certa forma inesperada. Estas podem hipoteticamente serem devidas a um processo deficientemente controlado ou então, possivelmente, serem resultado de reutilização após alteração local intencional ou accidental por aquecimento a temperaturas elevadas em ambientes com potencial elevado teor de carbono.

6. Conclusões

6.1 Considerações finais

O principal objetivo deste estudo visou a melhoria do conhecimento sobre as propriedades químicas e microestruturais dos materiais ferrosos, avaliação do estado de conservação e a respetiva correlação com as condições de exposição em uso.

Em resultado deste trabalho, foram selecionadas e analisadas um total de 14 amostras de uma amostragem inicial de aproximadamente 200. Procurou-se centrar este estudo em elementos de fixação; no entanto, a caracterização dos materiais ferrosos em construções antigas pode ser aplicada nos mais variados elementos metálicos, tal como demonstrado para os distintos casos de estudo incluídos na presente dissertação.

As amostras ISA-A1, ISA-A2, B-A2, B-A3, B-A8, PLC, LCD, PR-1 e PR-3, revelaram ser ferros pudelados, enquanto as amostras PR-2 e PR-4, demonstraram tratar-se de ferros fundidos. Já as amostras B-A1 e CG-1, tratam-se de aços; porém, foi facilmente observado que entre estas duas amostras existem alterações microestruturais, derivadas do próprio processo de fabrico de cada um destes elementos.

Os materiais revelaram uma grande variabilidade microestrutural, inclusive registando-se alterações locais, especialmente nas proximidades das superfícies, em alguns dos ferros pudelados que não seriam previsíveis dada a sua natureza. Este facto em particular pode indicar a reutilização destes materiais na construção, mas um levantamento histórico bem como uma amostragem em diferentes pontos do país será necessária para reforçar as hipóteses baseadas no estudo conduzido na presente dissertação.

A análise integrada dos resultados indicou aspetos relevantes para a datação e permitiu definir condições de partida para a realização de estudos que visem a obtenção de conhecimento adicional que fundamente as recomendações de intervenção para conservação de materiais ferrosos antigos em estruturas existentes.

Os dados recolhidos neste estudo e as respetivas conclusões serão inseridos na base de dados de materiais de construções históricas DB-HERITAGE.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Este estudo demonstrou a necessidade de investigação na área de caracterização dos materiais, neste caso de materiais ferrosos, em diferentes domínios, com o objetivo primário de apoiar o processo de decisão para a conservação do património. Os dados de caracterização destes materiais são essenciais ao apoio à datação de intervenções no ambiente construído, ao conhecimento dos materiais e previsão de desempenho no que se refere às suas propriedades mecânicas e resistência aos processos de deterioração.

Seria ideal se fosse possível efetuar a caracterização de amostras para as quais se conheça com precisão a sua data de produção; contudo, dado o pouco detalhe da informação existente, em paralelo com a realização

de intervenções que não se encontram devidamente documentadas, deverá ter de se investigar caso a caso até ao ponto em que os dados permitam a validação de diferentes hipóteses. Um estudo detalhado sobre a história de construção metálica a par com a evolução das técnicas de produção dos materiais ferrosos constituiria uma ferramenta essencial de suporte a esta análise.

Em particular, considera-se ser especialmente relevante efetuar estudos de caracterização química e microestrutural de amostras destes e de diferentes elementos construtivos que permitam melhorar o conhecimento sobre os materiais utilizados nas diferentes épocas construtivas. O alargamento da amostragem será também importante.

Será relevante proceder ao estudo de possíveis técnicas de conservação das amostras utilizadas neste trabalho, bem como noutros estudos semelhantes, para apoiar o desenvolvimento de metodologias de conservação eficientes e adaptadas à necessidade de preservação do valor histórico e patrimonial.

Referências bibliográficas

- American Society for Metals (1972). Metals Handbook - Atlas of microstructures of industrial alloys - Vol. 7 (8^a. Ed.). ASM Internacional.
- ASTM (1984). ASTM A147: Specification for Heat-Treated Steel Leaf Springs. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2015a). ASTM A197/A197M: Standard Specification for Cupola Malleable Iron. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2010). ASTM A247-10: Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2015b). ASTM E112: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2017a). ASTM E3 – 11: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2017b). ASTM E384 – 17: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2015c). ASTM E407 – 07: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM Standards: United States.
- ASTM (2018). ASTM E45 – 18: Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel. ASTM Standards: United States.
- Bramfitt, B. L. & Benscoter, A. O. (2002). Metallographer's Guide - Practices and Procedures for Irons and Steels. ASM Internacional.
- CEN (2000). EN 12500:2000 - Protection of metallic materials against corrosion. Corrosion likelihood in atmospheric environment. Classification, determination and estimation of corrosivity of atmospheric environments. Brussels.
- Chiaverini, V. (2005). Aços e ferros fundidos (7^a. Ed.). Associação Brasileira de Metais.
- CML (2018). Igreja de Santo António de Lisboa. <http://www.cm-lisboa.pt/equipamentos/equipamento/info/igreja-de-santo-antonio-de-lisboa>, acessado a 5 de março de 2019.
- CML (2019). Chafariz de Dentro <http://www.cm-lisboa.pt/equipamentos/equipamento/info/chafariz-de-dentro>, acessado a 26 de abril de 2019.
- Correia, M. J. (2009). Passivação do aço inoxidável no betão. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Correia, M. J. & Baptista, A. M. (2015). Características químicas e microestruturais de materiais metálicos utilizados nos primórdios da construção metálica. Construção Magazine nº67, p. 44–45.

- Correia, M. J., Perneta, H., Rodrigues, M. P., Pereira, E. V. & Salta, M. (2011). Sistemas de protecção contra corrosão das estruturas metálicas. VIII Congresso de Construção Metálica e Mista. Guimarães.
- Correia, M. J., Perneta, H., Salta, M., Gaillet, L., Patrício, H. & Schoefs, F. (2012a). DURATINET Technical guide - Maintenance and repair of transport infrastructures: Part III - Steel structures, Vol 1 - Durability factors and requirements.
- Correia, M. J., Perneta, H., Salta, M., Gaillet, L., Patrício, H. & Schoefs, F. (2012b). DURATINET Technical guide - Maintenance and repair of transport infrastructures: Part III - Steel structures, Vol 2 – Deterioration.
- Cremona, C., Patron, A., Johansson, B., Larsson, T., Eichler, B., Höhler, S. & Kühn, B. (2007). Sustainable development global change & ecosystems integrated project Improved Assessment Methods for Static and Fatigue Resistance of Old Steel Railway Bridges.
- Davis, J. R. (2003). Corrosion - Understanding the basics. (2^a. Ed.) ASM Internacional.
- DGPC (2016). Ponte 25 de Abril, <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/18933276>,
acedido a 12 de fevereiro de 2019.
- DGPC (2019a). Igreja de Santo António de Lisboa e sacristia, <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/70503>,
acedido a 5 de março de 2019.
- DGPC (2019b). Palácio da Rosa. <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/7453386>,
acedido a 7 de março de 2019.
- Folgado, D., Custódio, J., Leitão, M., & Muralha, J. (2003). Fábrica Schalk: um exemplo de arqueologia industrial em Lisboa: os primeiros dados da intervenção arqueológica. 4º Encontro de Arqueologia Urbana. Amadora.
- Gomes, L., Faria P., Silva V., Santos Silva A. (2019). Fernandina old Wall of Lisbon – Characterization towards its preservation. HMC2019 - 5th Historic Mortars Conference, 19-21 June 2019, Pamplona.
- Gonçalves, A. M. (1994). Palácio da Rosa, Dicionário da História de Lisboa. Diversos.
- Gonçalves de Brito, V. & Gordo, J. M. (2003). Tecnologia de Construção naval - folhas da cadeira: Parte III - Materiais metálicos. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Goodrich, G. M. (2003). Iron castings engineering handbook. American Foundry Society.
- Guesser, W. L. (2009). Propriedades mecânicas dos ferros fundidos. Blucher.
- IPQ (2002). NP EN 10020:2002 - Definição e classificação dos graus de aço.
- IPQ (2010). NP EN 1993-1-9 Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço: Parte 1-9: Fadiga.
- ISO (2012). EN ISO 9223:2012 - Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation.

- ISO (2008a). EN ISO 11782-1:2008 - Corrosion of metals and alloys – Corrosion fatigue testing – Part 1: Cycles to failure testing.
- ISO (2008b). EN ISO 11782-2:2008 - Corrosion of metals and alloys – Corrosion fatigue testing – Part 2: Crack propagation testing using precracked specimens.
- Lisboadeantigamente (2016). Largo do Chafariz de Dentro, <http://lisboadeantigamente.blogspot.com/2016/05/largo-do-chafariz-de-dentro.html>, acessado a 20 de junho de 2019.
- Lourenço, P. B., Vasconcelos, G., & Poletti, E. (2014). Edifícios Pombalinos: Comportamento e reforço. Seminário Intervir Em Construções Existentes de Madeira. Guimarães.
- Mitchell, D. S. (2017). Conservation of Architectural Ironwork. Routledge.
- Monumentosdesaparecidos (2012). Palácio dos Marqueses de Marialva, <http://monumentosdesaparecidos.blogspot.com/2012/06/palacio-dos-marqueses-de-marialva.html>, acessado a 13 de abril de 2019.
- Morais, L. (2015). Revitalização da Baixa Pombalina: Proposta de Humanização. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.
- Nelson, Lee H. (1968). Nail Chronology - As an aid to dating old buildings. National Park Service.
- Ortiz, N. (2000). Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} e Cd^{2+} em solução. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- Patrício, H. (2011). Estruturas Metálicas – Guia Técnico de Recomendações: Requisitos de Durabilidade, Processos de Degradação, Métodos de Inspeção e Reparação.
- Pereira, A. (2015). A Fábrica Schalck em Lisboa, <http://garfadasonline.blogspot.com/2015/02/a-fabrica-schalck-em-lisboa.html>, acessado a 3 de maio de 2019.
- Perneta, H. (2010). Pontes metálicas em ambiente marítimo: Metodologias de avaliação, reparação e protecção. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.
- Perneta, H., Correia, M. J., Salta, M. M., & Baptista, A. M. (2010). Reparação de estruturas metálicas. REHABILITAR2010, June 2010, Lisboa.
- Quality, C. (2010). Malleably Iron Casting, <http://www.castingquality.com/metal-casting-parts/cast-iron-parts/malleable-iron-casting.html>, acessado a 16 de fevereiro de 2019.
- Simões, R. (2014). Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas (3ª Ed.). Ass. Portuguesa de Construções Metálicas e Mistas.
- Smith, W. F. (1998). Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais (3ª Ed).
- Structurae (2019a). Internacional Database and Gallery of Structures, <https://structurae.net/structures/eiffel-tower>, acessado a 21 de fevereiro de 2019.
- Structurae (2019b). International Database and Gallery of Structures, <https://structurae.net/structures/maria-pia-bridge>, acessado a 21 de fevereiro de 2019.
- Structurae (2019c). International Database and Gallery of Structures, <https://structurae.net/structures/the-helix-bridge>, acessado a 21 de fevereiro de 2019.

- Vale, T., Gomes, C., & Figueiredo, P. (2011). Igreja de Santo António de Lisboa / Santuário de Santo António, http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3143, acedido a 5 de março de 2019.
- Vidal, D. F. (2013). Análise de estrutura e propriedade mecânicas de um ferro fundido nodular em processo de fundição produzido pela técnica de imersão de sino. Dissertação de Mestrado, Universidade do Norte Fluminense.
- Wells, T. (1998). Nail chronology: The use of technologically derived features. *Historical Archaeology*, Vol 32.

Anexo A – Registo fotográfico das amostras

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 1

Codificação da amostra: ISA - A1

Foto ISA - A1 - 01



Foto ISA - A1 - 02



Foto ISA - A1 - 01 – Aspetto geral

Foto ISA - A1 - 02 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto ISA - A1 - 03



Foto ISA - A1 - 04



Foto ISA - A1 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor de fratura

Foto ISA - A1 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor de fratura

Foto ISA - A1 - 05



Foto ISA - A1 - 06



Foto ISA - A1 - 05 – Observação Macrográfica – Pormenor da cabeça

Foto ISA - A1 - 06 – Observação Macrográfica – Pormenor contiguo à cabeça

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 1

Codificação da amostra: ISA - A1

Foto ISA - A1 - 07



Foto ISA - A1 - 08

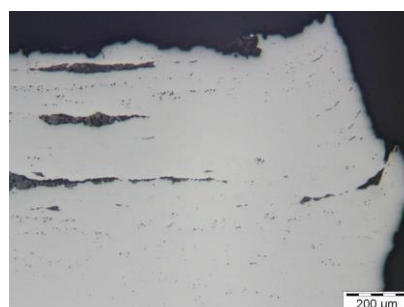


Foto ISA - A1 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspeto geral

Foto ISA - A1 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto ISA - A1 - 09

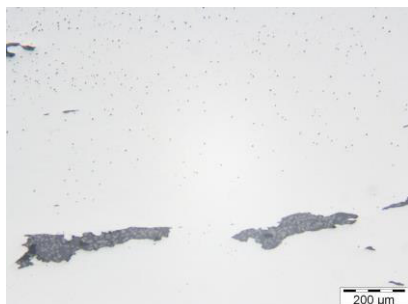


Foto ISA - A1 - 10

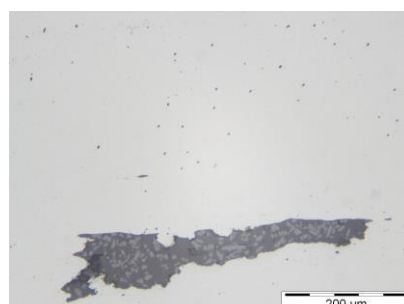


Foto ISA - A1 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Inclusões

Foto ISA - A1 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor assinalado em 9

Foto ISA - A1 - 11

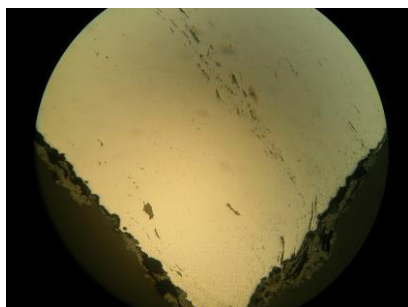


Foto ISA - A1 - 12

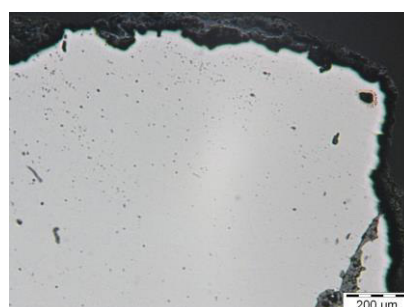


Foto ISA - A1 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto ISA - A1 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 1

Codificação da amostra: ISA - A1

Foto ISA - A1 - 13

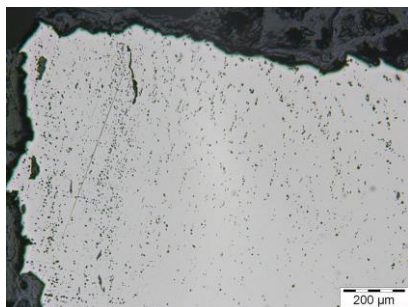


Foto ISA - A1 - 14

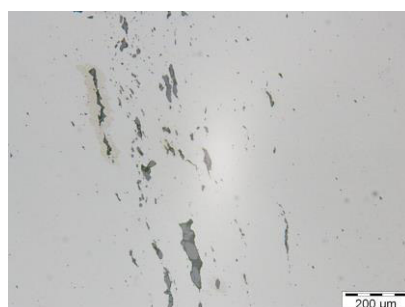


Foto ISA - A1 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto ISA - A1 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 13

Foto ISA - A1 - 15

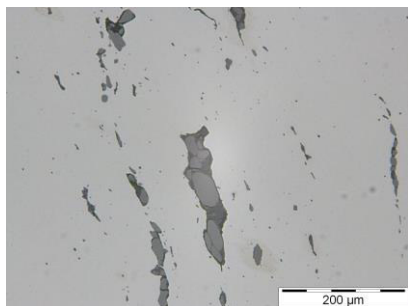


Foto ISA - A1 - 16

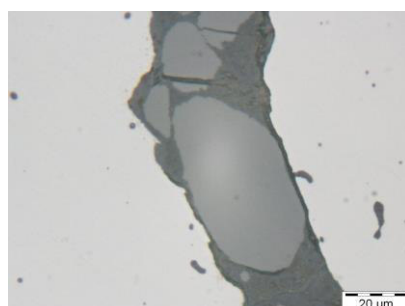


Foto ISA - A1 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 14

Foto ISA - A1 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 15

Foto ISA - A1 - 17

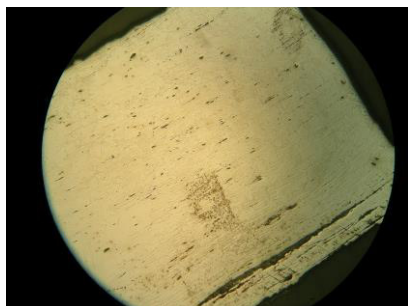


Foto ISA - A1 - 18

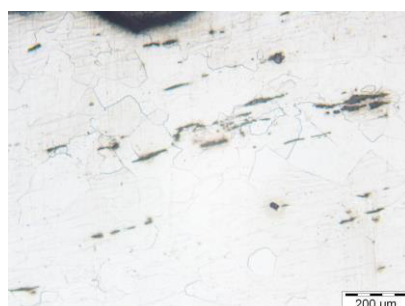


Foto ISA - A1 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto ISA - A1 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 1

Codificação da amostra: ISA - A1

Foto ISA - A1 - 19

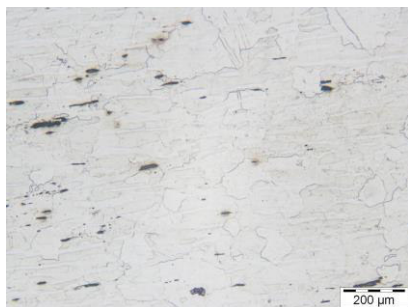


Foto ISA - A1 - 20

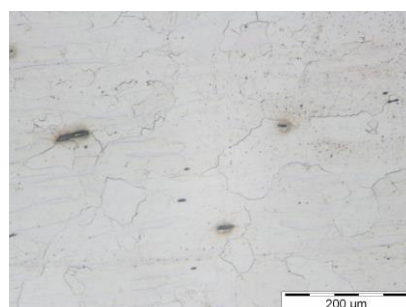


Foto ISA - A1 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor
Foto ISA - A1 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A1 - 21

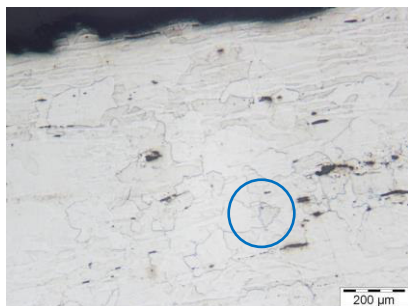


Foto ISA - A1 - 22

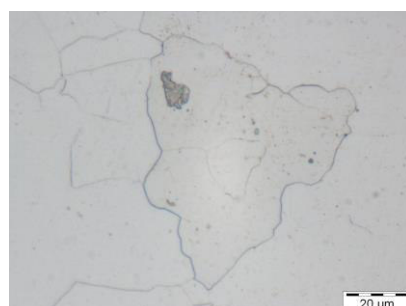


Foto ISA - A1 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor
Foto ISA - A1 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor assinalado em 21

Foto ISA - A1 - 23

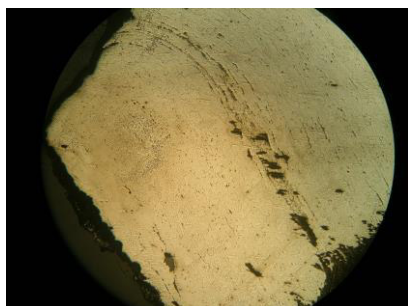


Foto ISA - A1 - 24

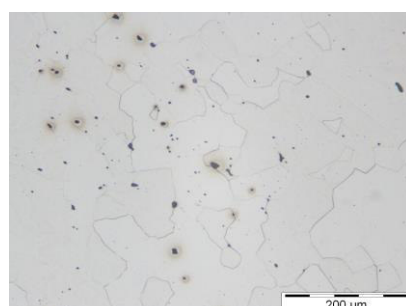


Foto ISA - A1 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspetto geral
Foto ISA - A1 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 1

Codificação da amostra: ISA - A1

Foto ISA - A1 - 25

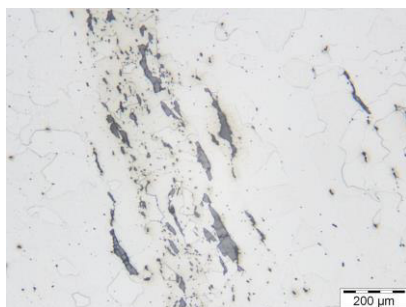


Foto ISA - A1 - 26

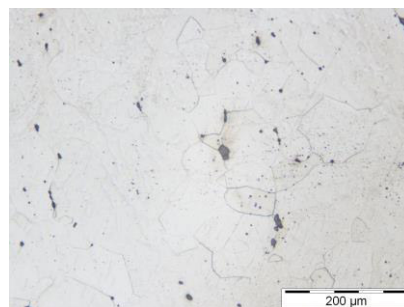


Foto ISA - A1 - 25 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A1 - 26 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A1 - 27



Foto ISA - A1 - 28

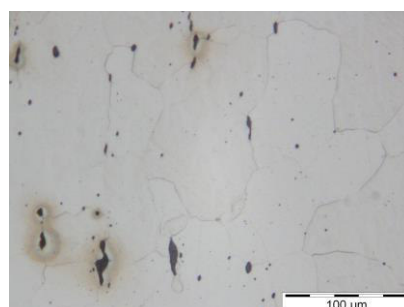


Foto ISA - A1 - 27 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A1 - 28 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor assinalado em 27

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 2

Codificação da amostra: ISA - A2

Foto ISA - A2 - 01



Foto ISA - A2 - 02



Foto ISA - A2 - 01 – Aspetto geral

Foto ISA - A2 - 02 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto ISA - A2 - 03



Foto ISA - A2 - 04



Foto ISA - A2 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor da cabeça

Foto ISA - A2 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor contíguo à cabeça

Foto ISA - A2 - 05

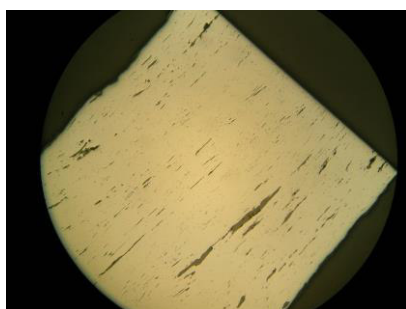


Foto ISA - A2 - 06

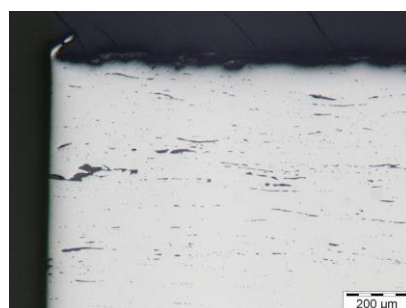


Foto ISA - A2 - 05 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspetto geral

Foto ISA - A2 - 06 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 2

Codificação da amostra: ISA - A2

Foto ISA - A2 - 07

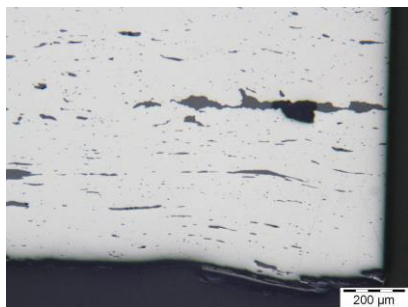


Foto ISA - A2 - 08

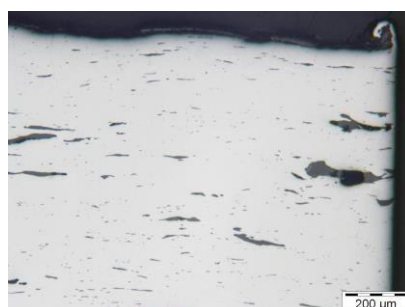


Foto ISA - A2 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto ISA - A2 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto ISA - A2 - 09

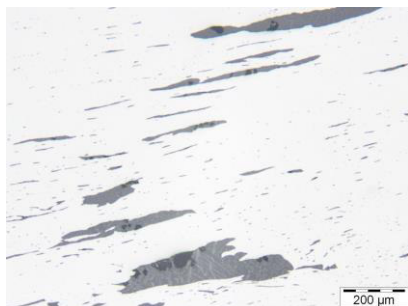


Foto ISA - A2 - 10



Foto ISA - A2 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor D

Foto ISA - A2 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto ISA - A2 - 11

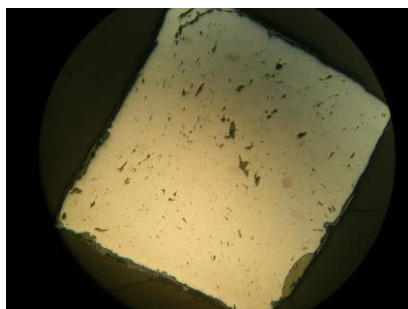


Foto ISA - A2 - 12

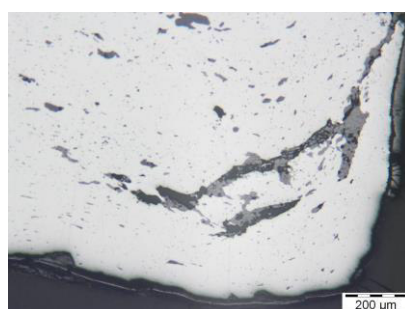
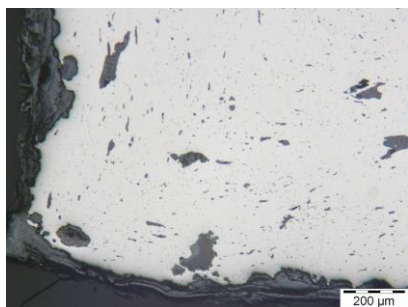
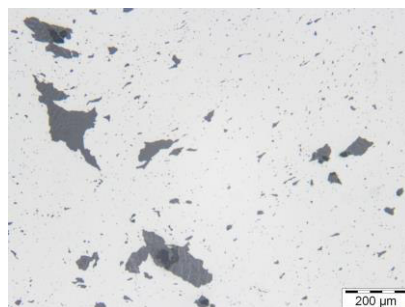
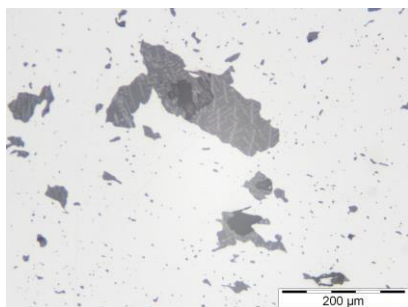
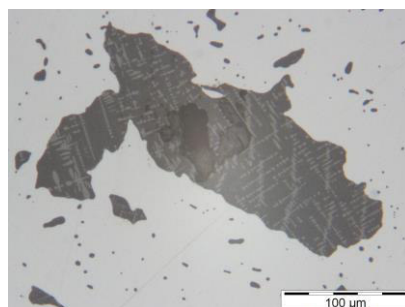
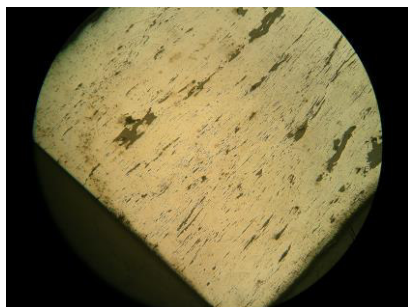
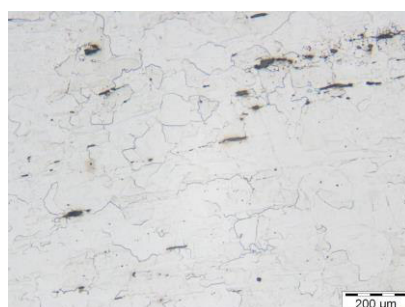


Foto ISA - A2 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto ISA - A2 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Igreja de Santo António - Lisboa**Identificação da amostra:** Igreja de Santo António – Amostra 2**Codificação da amostra:** ISA - A2**Foto ISA - A2 - 13****Foto ISA - A2 - 14****Foto ISA - A2 - 13** – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor**Foto ISA - A2 - 14** – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor**Foto ISA - A2 - 15****Foto ISA - A2 - 16****Foto ISA - A2 - 15** – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 14**Foto ISA - A2 - 16** – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 15**Foto ISA - A2 - 17****Foto ISA - A2 - 18****Foto ISA - A2 - 17** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral**Foto ISA - A2 - 18** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Igreja de Santo António - Lisboa

Identificação da amostra: Igreja de Santo António – Amostra 2

Codificação da amostra: ISA - A2

Foto ISA - A2 - 19

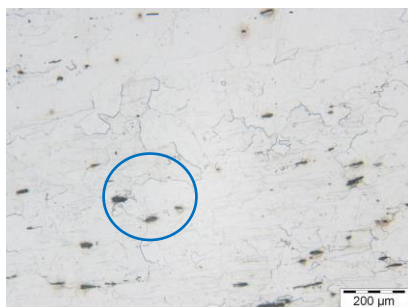


Foto ISA - A2 - 20



Foto ISA - A2 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A2 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor assinalado em 19

Foto ISA - A2 - 21

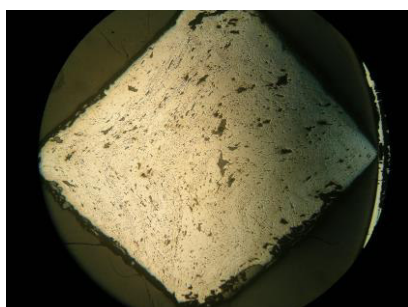


Foto ISA - A2 - 22

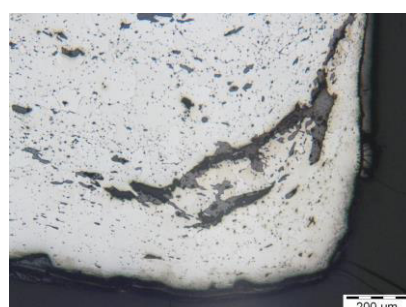


Foto ISA - A2 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspetto geral

Foto ISA - A2 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A2 - 23

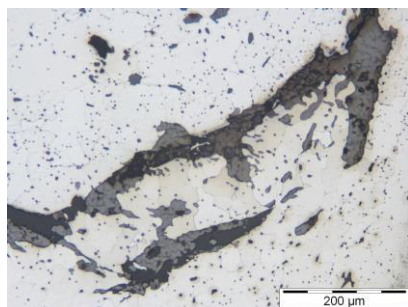


Foto ISA - A2 - 24

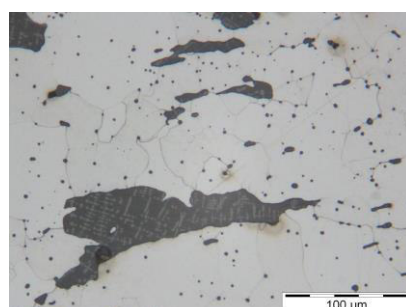
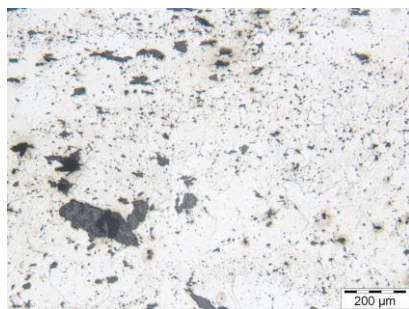
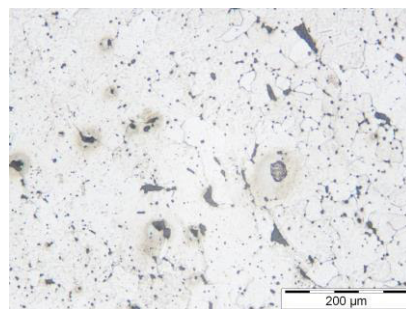


Foto ISA - A2 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto ISA - A2 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Igreja de Santo António - Lisboa**Identificação da amostra:** Igreja de Santo António – Amostra 2**Codificação da amostra:** ISA - A2**Foto ISA - A2 - 25****Foto ISA - A2 - 26****Foto ISA - A2 - 25** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto ISA - A2 - 26** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 1

Codificação da amostra: B - A1

Foto B - A1 - 01



Foto B - A1 - 02



Foto B - A1 - 01 – Aspetto geral

Foto B - A1 - 02 – Aspetto geral

Foto B - A1 - 03

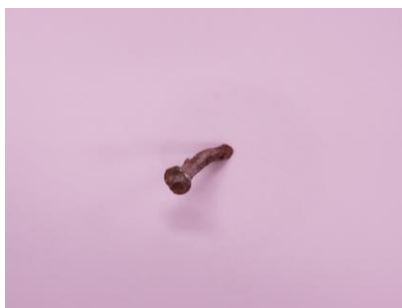


Foto B - A1 - 04



Foto B - A1 - 03 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto B - A1 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor contiguo à cabeça

Foto B - A1 - 05



Foto B - A1 - 06

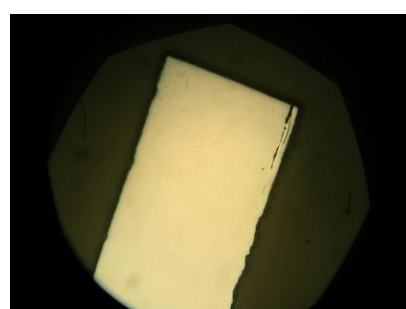


Foto B - A1 - 05 – Observação Macrográfica – Desgaste no corpo do prego

Foto B - A1 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspetto geral

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 1

Codificação da amostra: B - A1

Foto B - A1 - 07

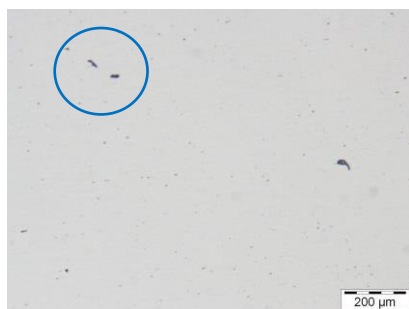


Foto B - A1 - 08

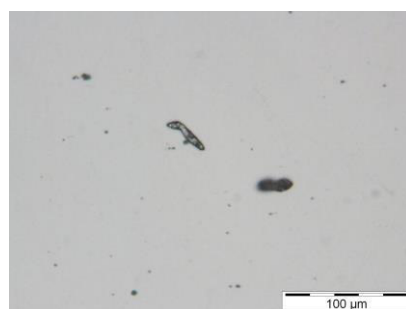


Foto B - A1 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Inclusões

Foto B - A1 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor assinalado em 7

Foto B - A1 - 09

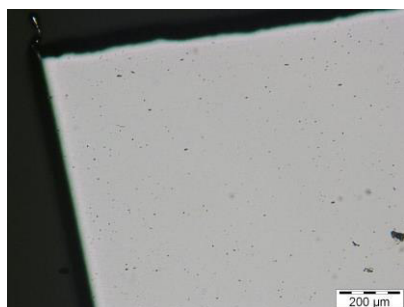


Foto B - A1 - 10

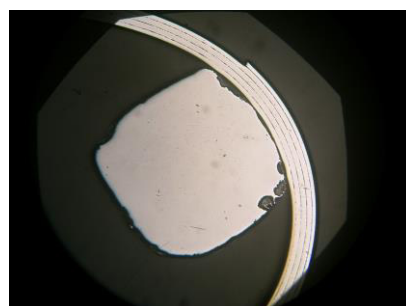


Foto B - A1 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Inclusões

Foto B - A1 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto B - A1 - 11

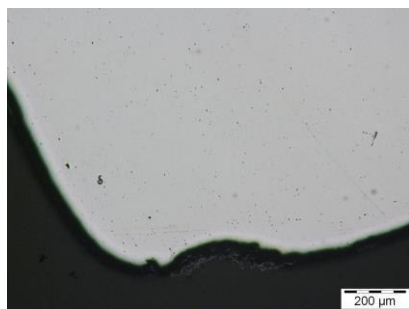


Foto B - A1 - 12

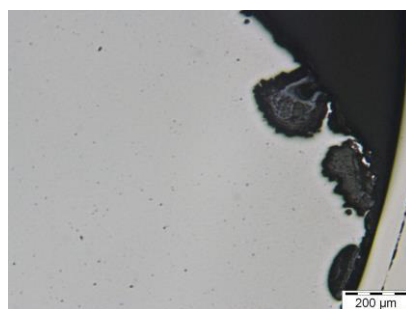


Foto B - A1 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A1 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 1

Codificação da amostra: B - A1

Foto B - A1 - 13

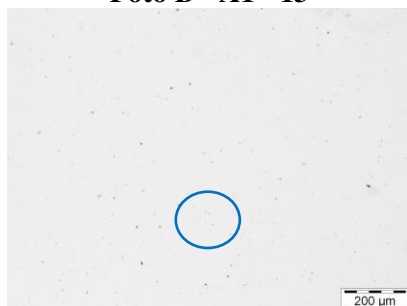


Foto B - A1 - 14

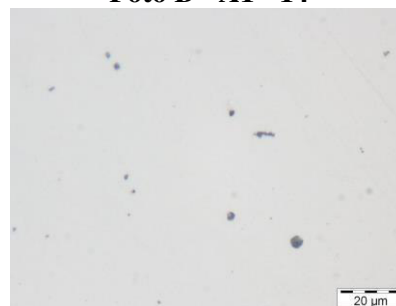


Foto B - A1 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Inclusões

Foto B - A1 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor assinalado em 13

Foto B - A1 - 15

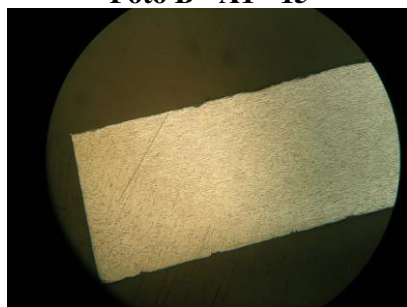


Foto B - A1 - 16

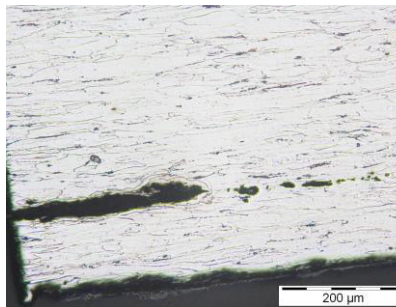


Foto B - A1 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A1 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 17



Foto B - A1 - 18

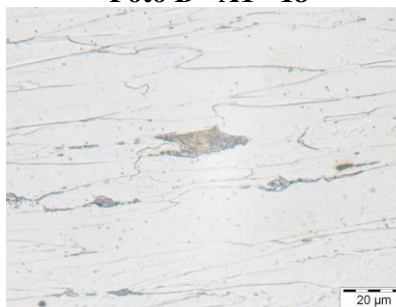


Foto B - A1 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 1

Codificação da amostra: B - A1

Foto B - A1 - 19

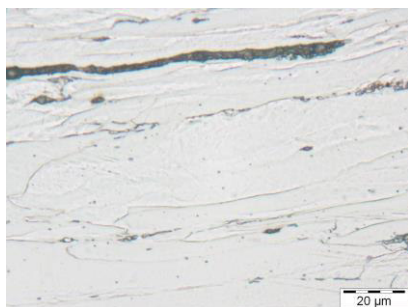


Foto B - A1 - 20

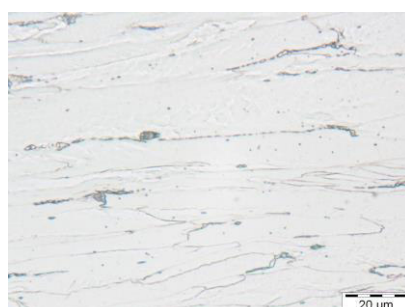


Foto B - A1 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 21

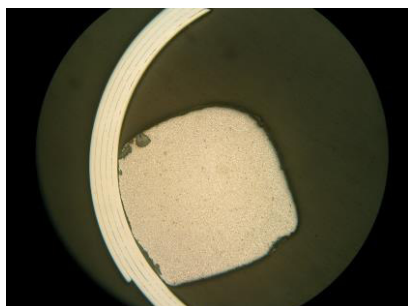


Foto B - A1 - 22

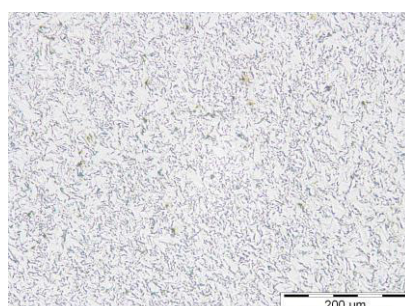


Foto B - A1 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A1 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 23

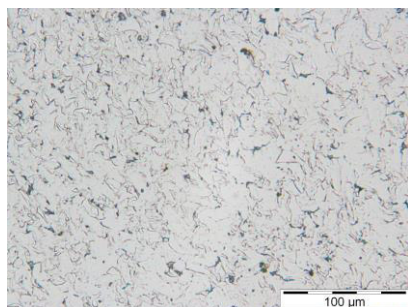


Foto B - A1 - 24

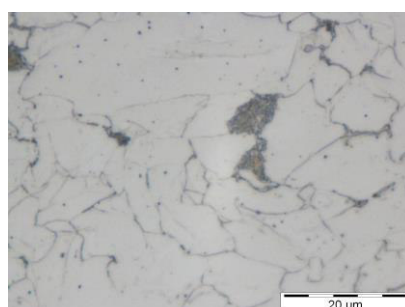


Foto B - A1 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A1 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 2

Codificação da amostra: B - A2

Foto B - A2 - 01



Foto B - A2 - 02



Foto B - A2 - 01 – Aspetto geral

Foto B - A2 - 02 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto B - A2 - 03



Foto B - A2 - 04



Foto B - A2 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor do corpo

Foto B - A2 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A2 - 05



Foto B - A2 - 06



Foto B - A2 - 05 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A2 - 06 – Observação Macrográfica – Pormenor assinalado em 5

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 2

Codificação da amostra: B - A2

Foto B - A2 - 07

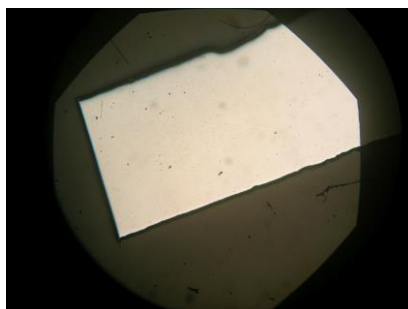


Foto B - A2 - 08

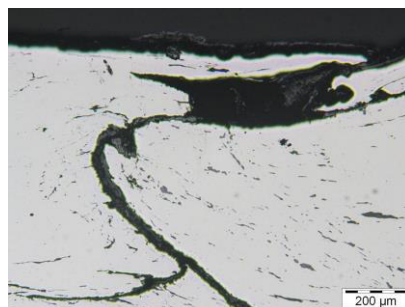


Foto B - A2 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspeto geral

Foto B - A2 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A2 - 09

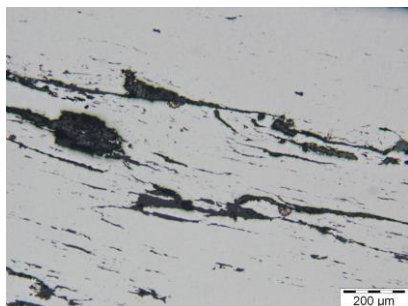


Foto B - A2 - 10



Foto B - A2 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A2 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A2 - 11

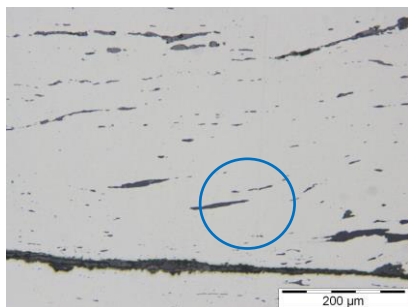


Foto B - A2 - 12

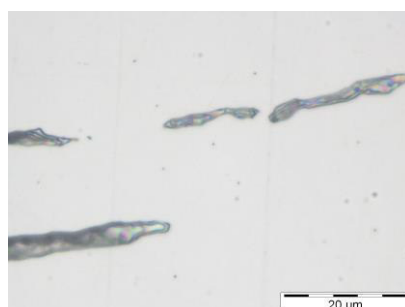


Foto B - A2 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A2 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor assinalado em 11

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 2

Codificação da amostra: B - A2

Foto B - A2 - 13

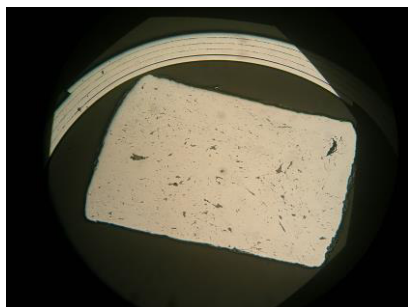


Foto B - A2 - 14

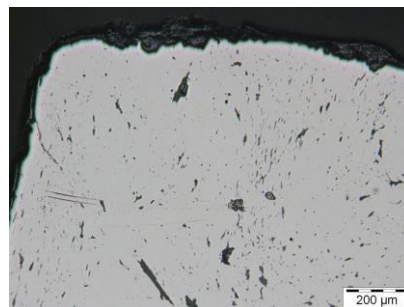


Foto B - A2 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto B - A2 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A2 - 15

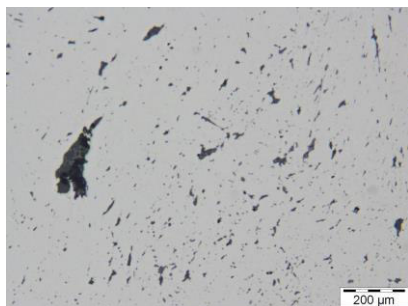


Foto B - A2 - 16

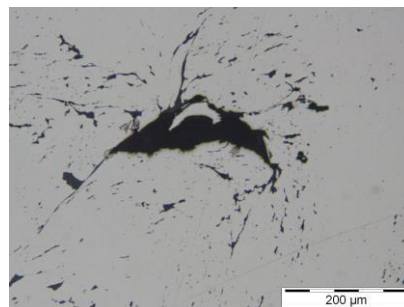


Foto B - A2 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A2 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A2 - 17

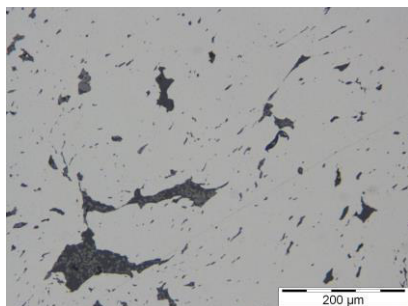


Foto B - A2 - 18

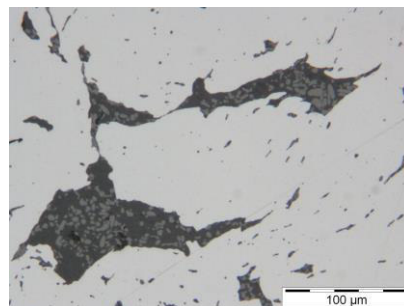


Foto B - A2 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A2 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 17

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 2

Codificação da amostra: B - A2

Foto B - A2 - 19

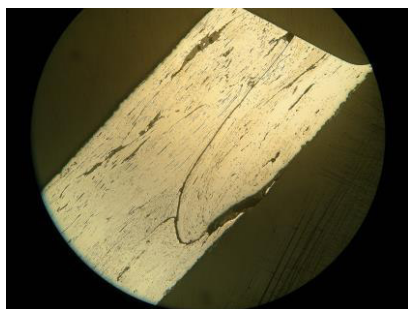


Foto B - A2 - 20



Foto B - A2 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A2 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A2 - 21

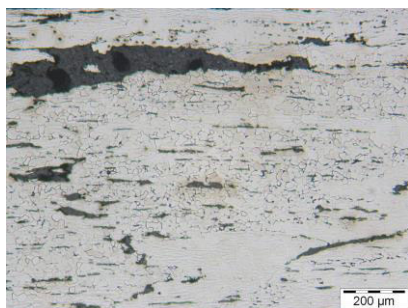


Foto B - A2 - 22

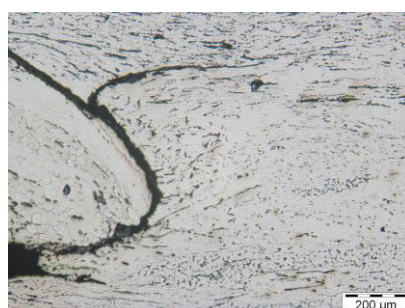


Foto B - A2 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A2 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A2 - 23

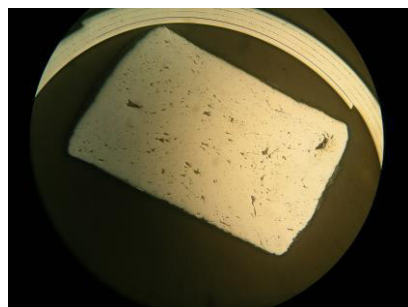


Foto B - A2 - 24

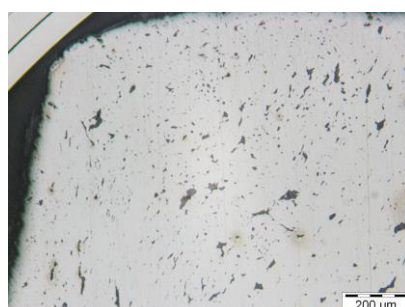
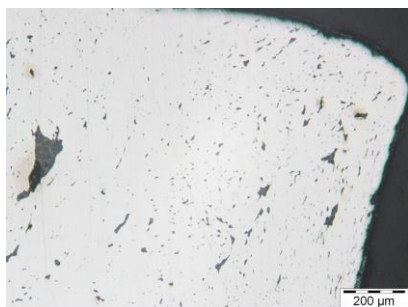
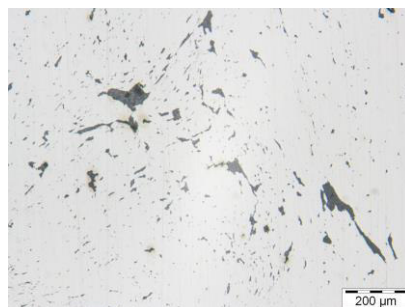


Foto B - A2 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A2 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa**Identificação da amostra:** Millennium BCP – Amostra 2**Codificação da amostra:** B - A2**Foto B - A2 - 25****Foto B - A2 - 26****Foto B - A2 - 25** – Caracterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto B - A2 - 26** – Análise Microscópica – Corte transversal após ataque com Nital 5% – Pormenor O

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 3

Codificação da amostra: B - A3

Foto B - A3 - 01



Foto B - A3 - 02

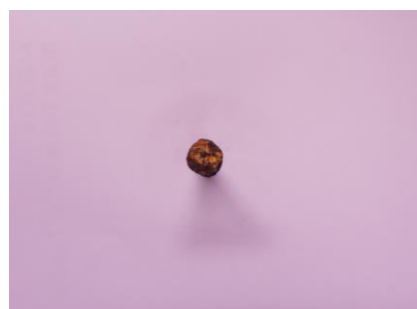


Foto B - A3 - 01 – Aspetto geral

Foto B - A3 - 02 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto B - A3 - 03



Foto B - A3 - 04



Foto B - A3 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor da cabeça

Foto B - A3 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor contiguo à cabeça

Foto B - A3 - 05

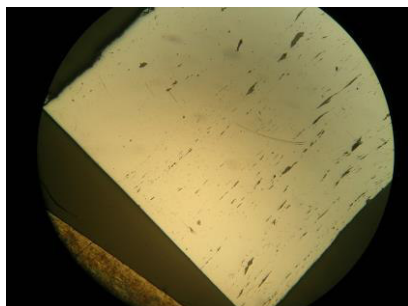


Foto B - A3 - 06

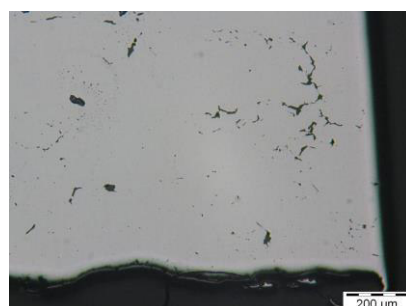


Foto B - A3 - 05 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspetto geral

Foto B - A3 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 3

Codificação da amostra: B - A3

Foto B - A3 - 07

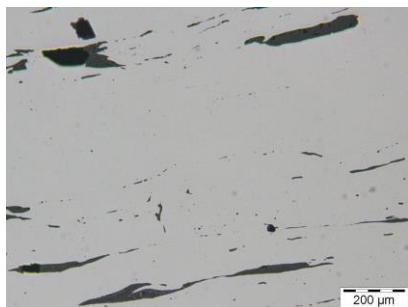


Foto B - A3- 08



Foto B - A3 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A3 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A3 - 09

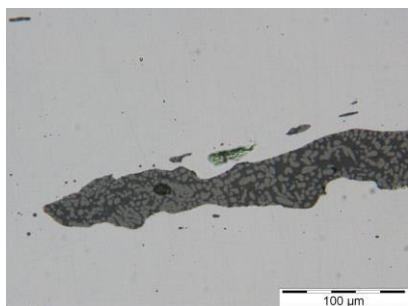


Foto B - A3 - 10

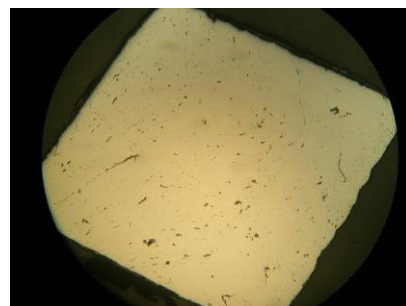


Foto B - A3 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor assinalado em 8

Foto B - A3 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto B - A3 - 11

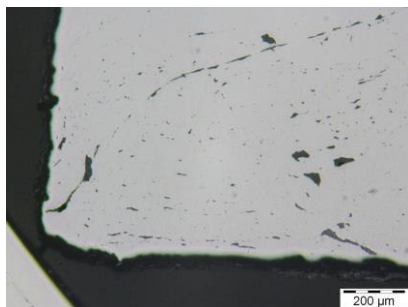


Foto B - A3 - 12

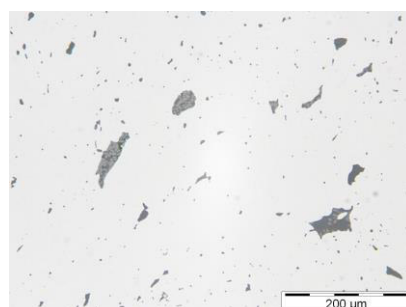


Foto B - A3 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A3 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 3

Codificação da amostra: B - A3

Foto B - A3 - 13

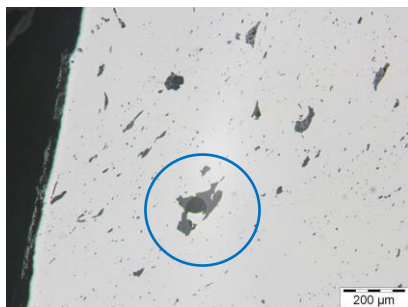


Foto B - A3 - 14

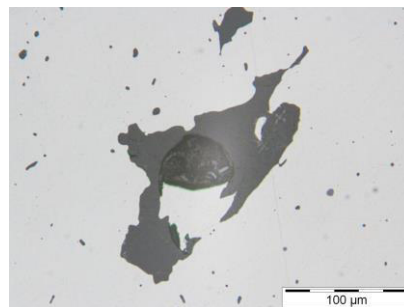


Foto B - A3 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A3 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor assinalado em 13

Foto B - A3 - 15

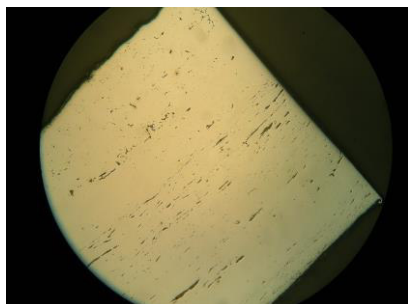


Foto B - A3 - 16

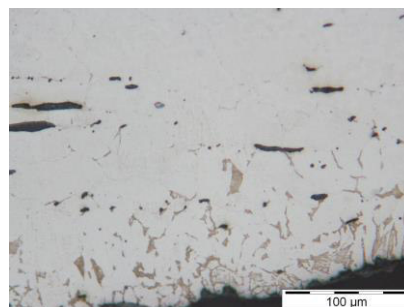


Foto B - A3 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A3 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A3 - 17



Foto B - A3 - 18

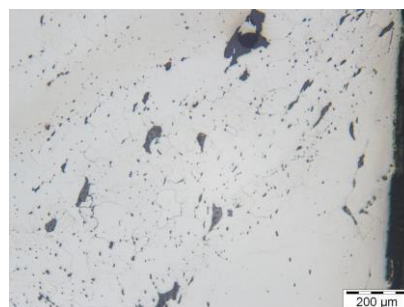
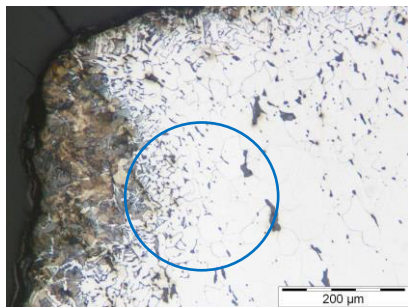
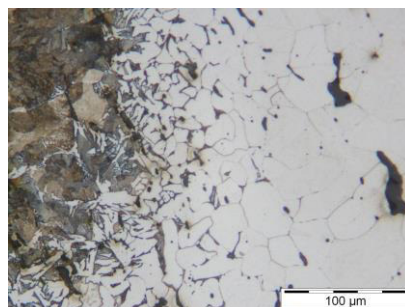


Foto B - A3 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A3 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa**Identificação da amostra:** Millennium BCP – Amostra 3**Codificação da amostra:** B - A3**Foto B - A3 - 19****Foto B - A3 - 20****Foto B - A3 - 19** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto B - A3 - 20** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor assinalado em 19

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 7

Codificação da amostra: B - A7

Foto B - A7 - 01



Foto B - A7 - 02

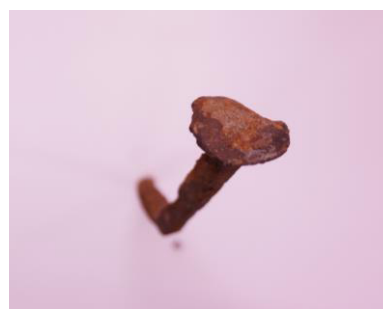


Foto B - A7 - 01 – Aspecto geral

Foto B - A7 - 02 – Aspecto do pormenor da cabeça

Foto B - A7 - 03



Foto B - A7 - 04



Foto B - A7 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor da cabeça

Foto B - A7 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A7 - 05



Foto B - A7 - 06



Foto B - A7 - 05 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A7 - 06 – Observação Macrográfica – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 7

Codificação da amostra: B - A7

Foto B - A7 - 07

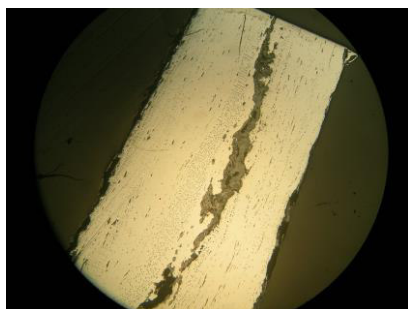


Foto B - A7- 08

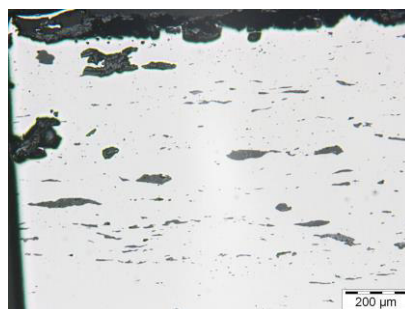


Foto B - A7 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspeto geral

Foto B - A7 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A7 - 09

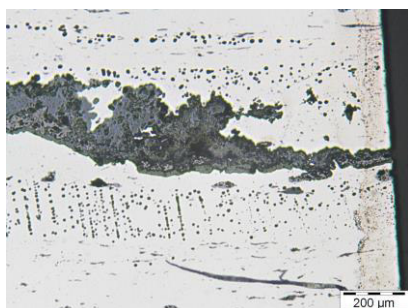


Foto B - A7 - 10

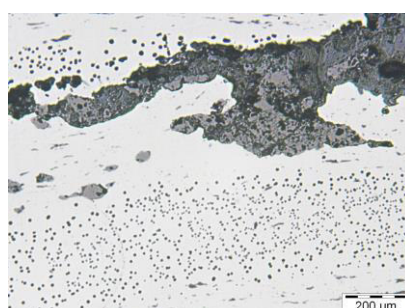


Foto B - A7 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A7 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A7 - 11

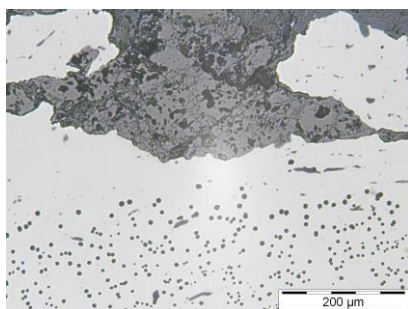


Foto B - A7 - 12

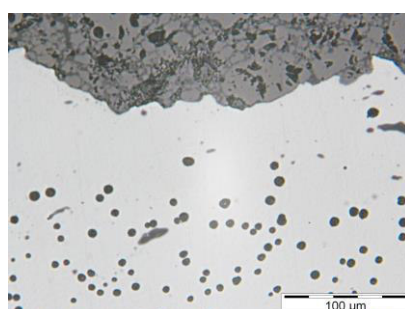


Foto B - A7 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A7 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor ampliado de 11

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 7

Codificação da amostra: B - A7

Foto B - A7 - 13

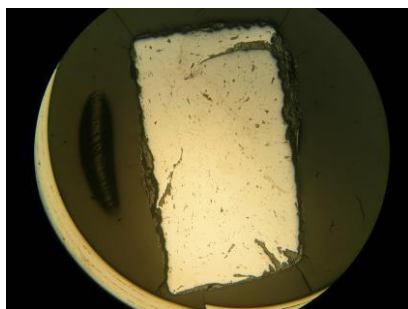


Foto B - A7 - 14

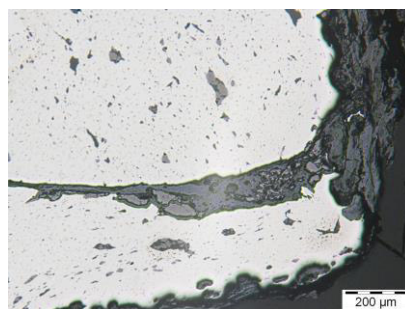


Foto B - A7 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto B - A7 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A7 - 15

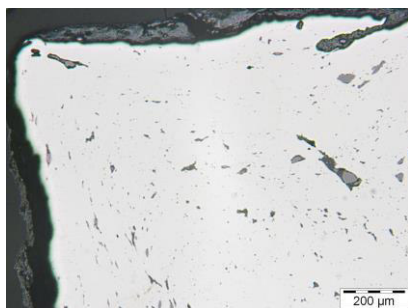


Foto B - A7 - 16

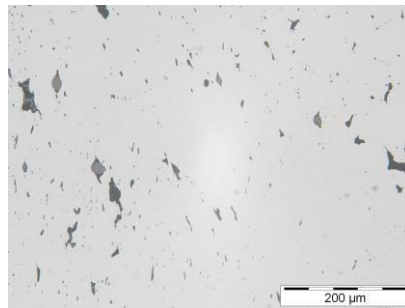


Foto B - A7 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A7 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A7 - 17

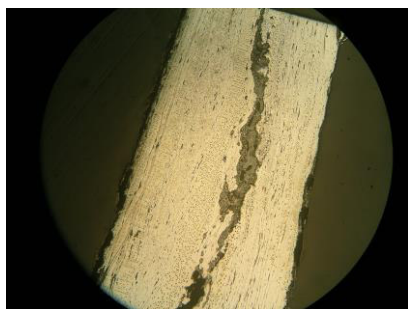


Foto B - A7 - 18

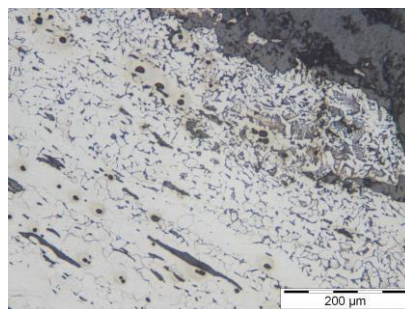


Foto B - A7 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A7 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 7

Codificação da amostra: B - A7

Foto B - A7 - 19

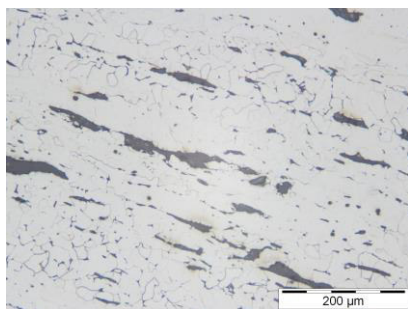


Foto B - A7 - 20



Foto B - A7 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A7 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A7 - 21

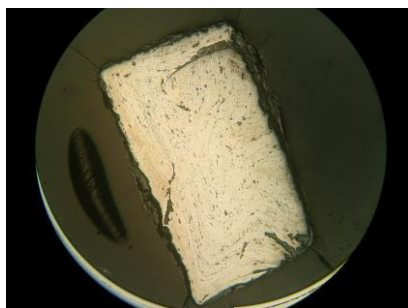


Foto B - A7 - 22

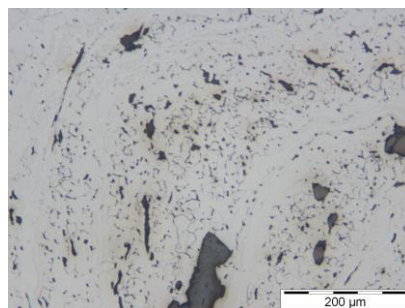


Foto B - A7 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A7 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A7 - 23

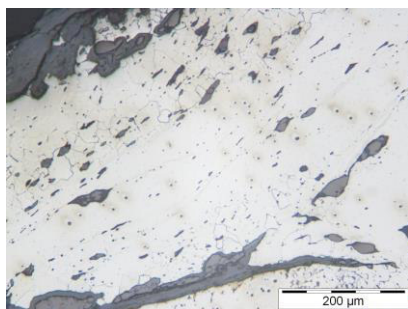


Foto B - A7 - 24



Foto B - A7 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A7 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor ampliado de 23

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 8

Codificação da amostra: B - A8

Foto B - A8 - 01



Foto B - A8 - 02



Foto B - A8 - 01 – Aspetto geral

Foto B - A8 - 02 – Aspetto do pormenor da cabeça

Foto B - A8 - 03



Foto B - A8 - 04



Foto B - A8 - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A8 - 04 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A8 - 05



Foto B - A8 - 06



Foto B - A8 - 05 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto B - A8 - 06 – Observação Macrográfica – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 8

Codificação da amostra: B - A8

Foto B - A8 - 07



Foto B - A8- 08

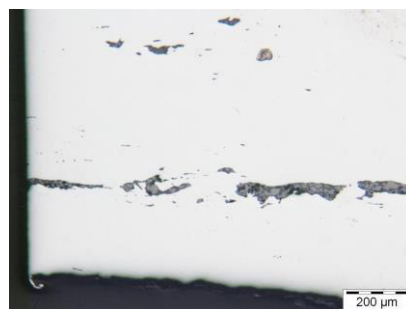


Foto B - A8 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Aspetto geral

Foto B - A8 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A8 - 09

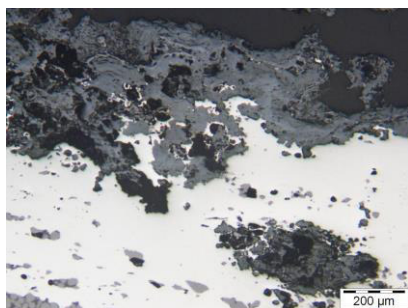


Foto B - A8 - 10

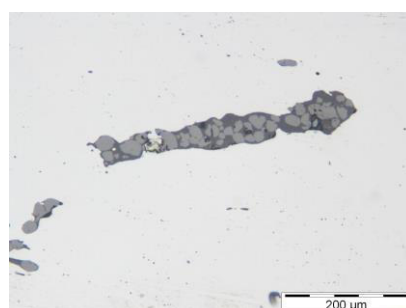


Foto B - A8 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A8 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto B - A8 - 11

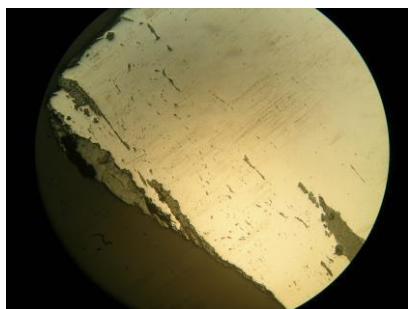


Foto B - A8 - 12

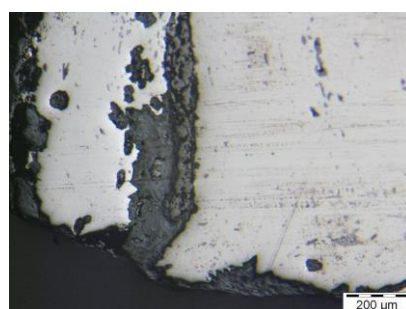


Foto B - A8 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspetto geral

Foto B - A8 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 8

Codificação da amostra: B - A8

Foto B - A8 - 13

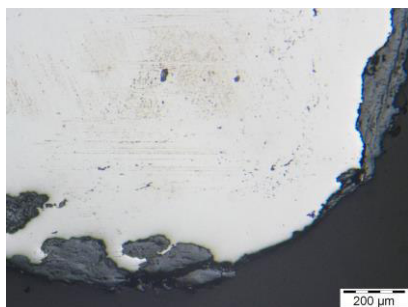


Foto B - A8 - 14

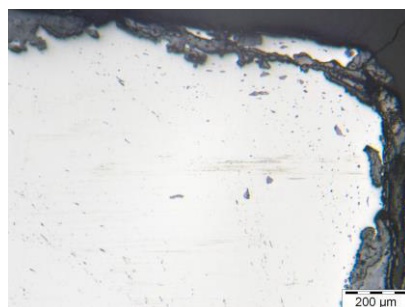


Foto B - A8 - 13 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A8 - 14 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A8 - 15

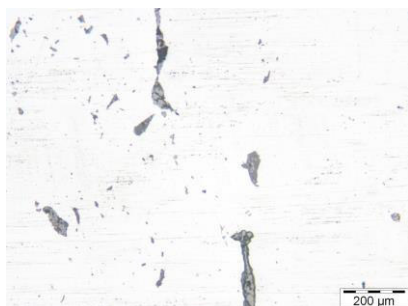


Foto B - A8 - 16

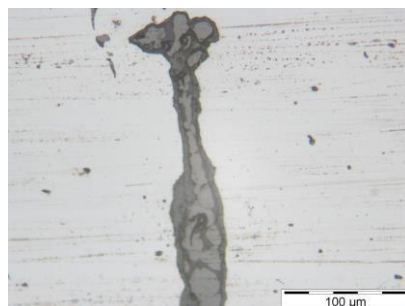


Foto B - A8 - 15 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto B - A8 - 16 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor ampliado de 15

Foto B - A8 - 17

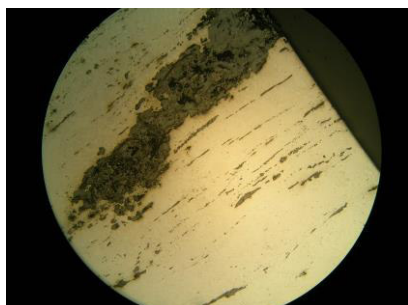


Foto B - A8 - 18

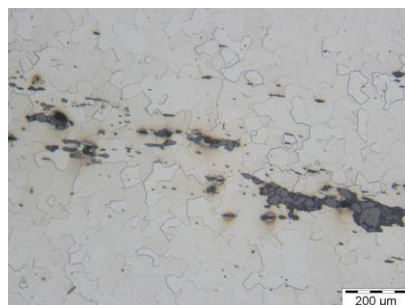


Foto B - A8 - 17 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A8 - 18 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa

Identificação da amostra: Millennium BCP – Amostra 8

Codificação da amostra: B - A8

Foto B - A8 - 19

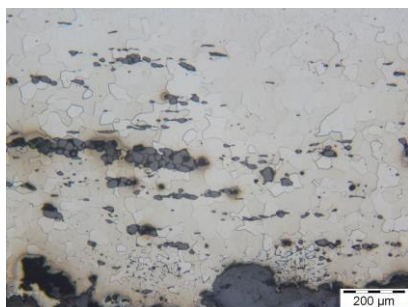


Foto B - A8 - 20

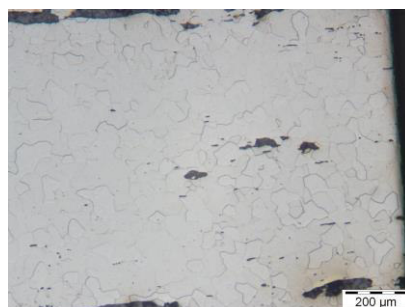


Foto B - A8 - 19 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A8 - 20 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A8 - 21



Foto B - A8 - 22



Foto B - A8 - 21 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Aspeto geral

Foto B - A8 - 22 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A8 - 23

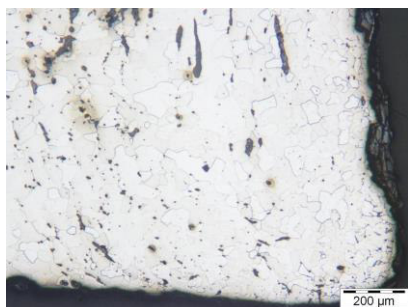


Foto B - A8 - 24

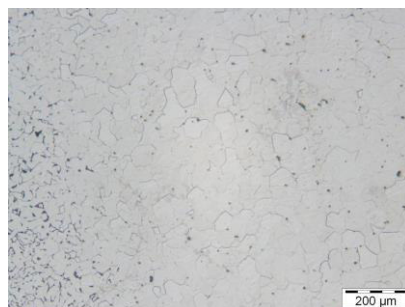
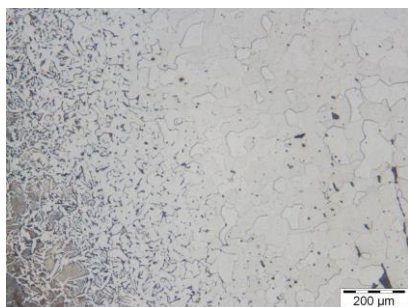
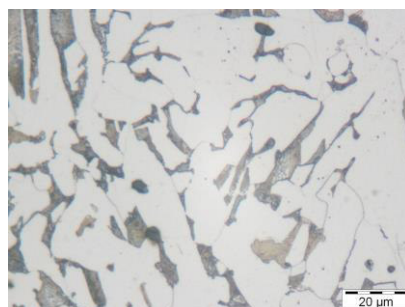


Foto B - A8 - 23 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto B - A8 - 24 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Edifício Sede Millennium BCP – Baixa de Lisboa**Identificação da amostra:** Millennium BCP – Amostra 8**Codificação da amostra:** B - A8**Foto B - A8 - 25****Foto B - A8 - 26****Foto B - A8 - 25** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto B - A8 - 26** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Largo do Chafariz de Dentro - Lisboa

Identificação da amostra: Largo do Chafariz de Dentro

Codificação da amostra: LCD

Foto LCD - 01



Foto LCD - 02



Foto LCD - 01 – Aspecto geral antes da extração

Foto LCD - 02 – Aspecto geral

Foto LCD - 03



Foto LCD - 04

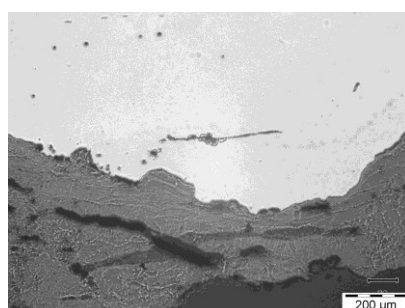


Foto LCD - 03 – Aspecto do pormenor da cabeça

Foto LCD - 04 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto LCD - 05

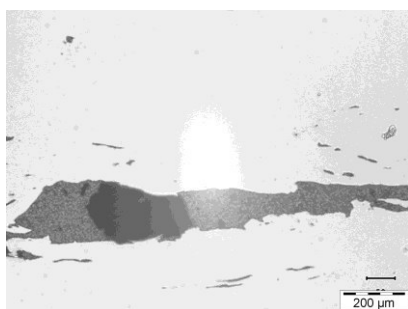


Foto LCD - 06

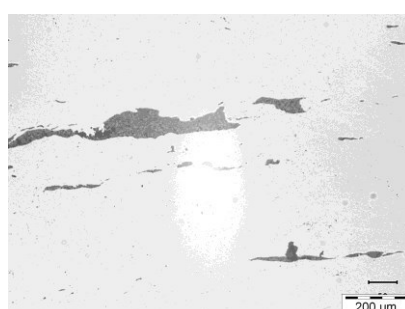


Foto LCD - 05 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto LCD - 06 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Largo do Chafariz de Dentro - Lisboa

Identificação da amostra: Largo do Chafariz de Dentro

Codificação da amostra: LCD

Foto LCD - 07



Foto LCD - 08

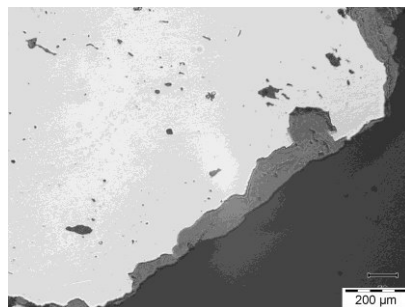


Foto LCD - 07 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto LCD - 08 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto LCD - 09



Foto LCD - 10

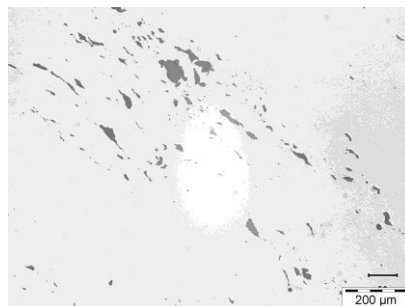


Foto LCD - 09 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto LCD - 10 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto LCD - 11

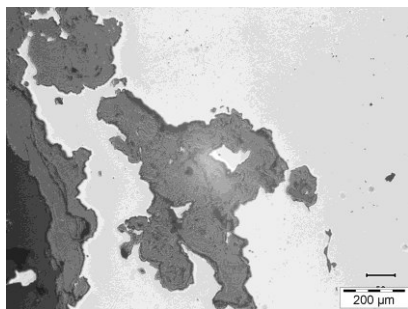


Foto LCD - 12

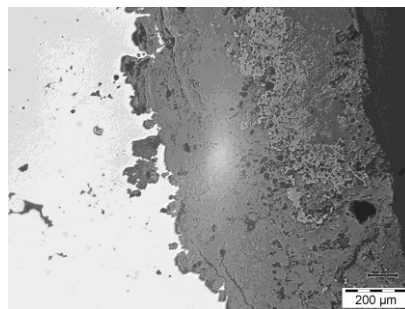
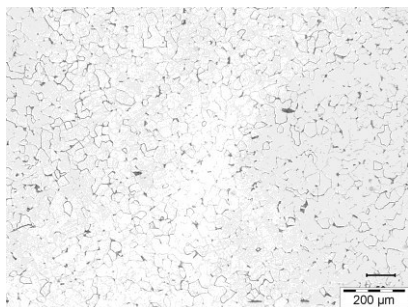
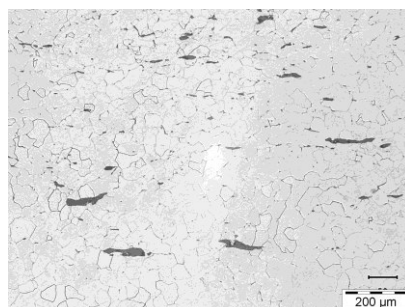
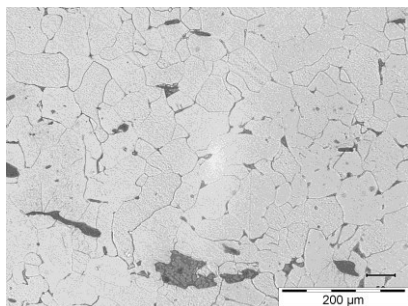
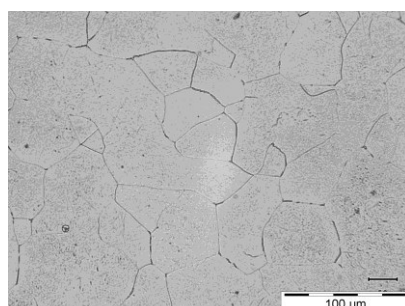
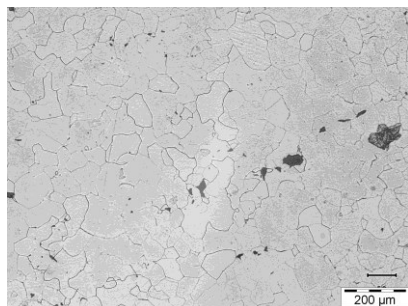
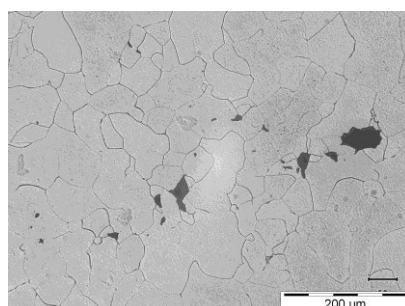
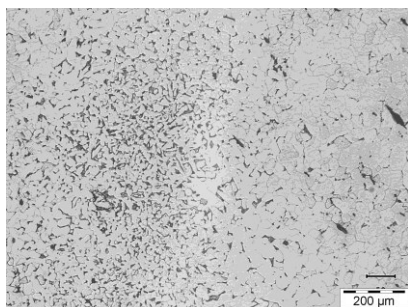
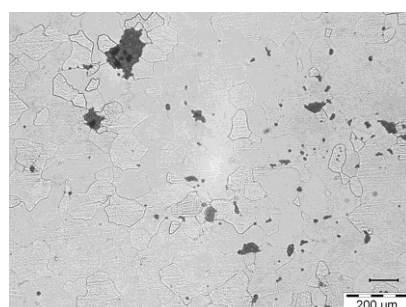


Foto LCD - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto LCD - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Largo do Chafariz de Dentro - Lisboa**Identificação da amostra:** Largo do Chafariz de Dentro**Codificação da amostra:** LCD**Foto LCD - 13****Foto LCD - 14****Foto LCD - 13** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 14** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 15****Foto LCD - 16****Foto LCD - 15** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 16** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 17****Foto LCD - 18****Foto LCD - 17** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 18** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Largo do Chafariz de Dentro - Lisboa**Identificação da amostra:** Largo do Chafariz de Dentro**Codificação da amostra:** LCD**Foto LCD - 19****Foto LCD - 20****Foto LCD - 19** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto LCD - 20** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio do Marquês de Marialva - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio do Marquês de Marialva

Codificação da amostra: PLC

Foto PLC - 01



Foto PLC - 02



Foto PLC - 01 – Aspecto geral

Foto PLC - 02 – Aspecto do pormenor da cabeça

Foto PLC - 03



Foto PLC - 04

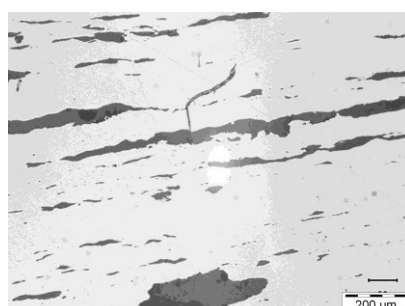


Foto PLC - 03 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto PLC - 04 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PLC - 05

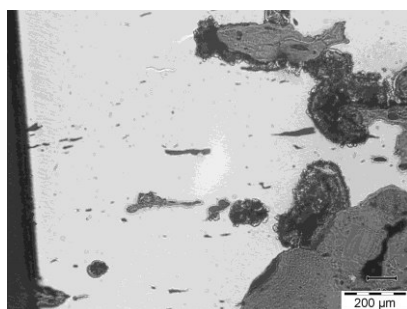


Foto PLC - 06

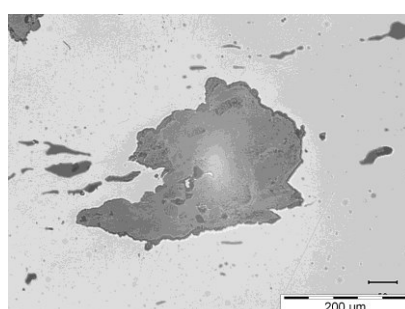


Foto PLC - 05 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PLC - 06 – Caracterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio do Marquês de Marialva - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio do Marquês de Marialva

Codificação da amostra: PLC

Foto PLC - 07



Foto PLC - 08

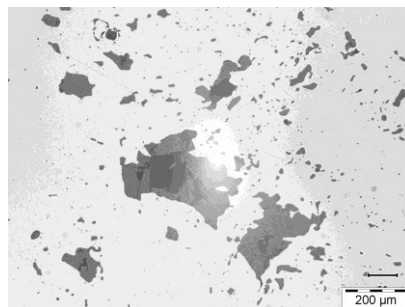


Foto PLC - 07 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Aspeto geral

Foto PLC - 08 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PLC - 09

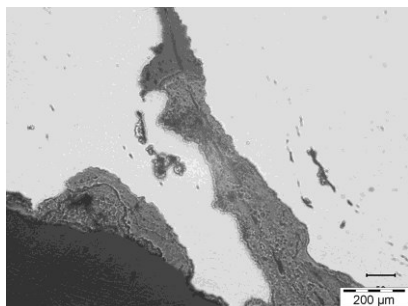


Foto PLC - 10

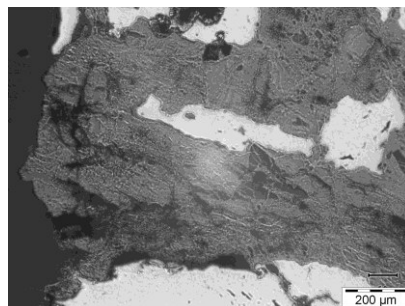


Foto PLC - 09 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PLC - 10 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PLC - 11

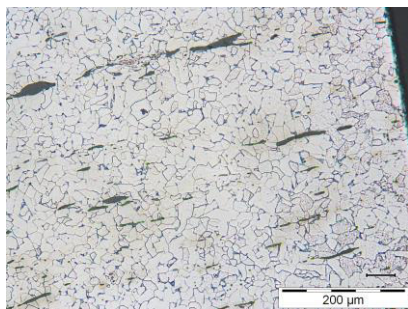


Foto PLC - 12

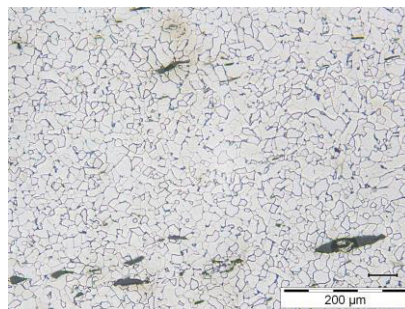
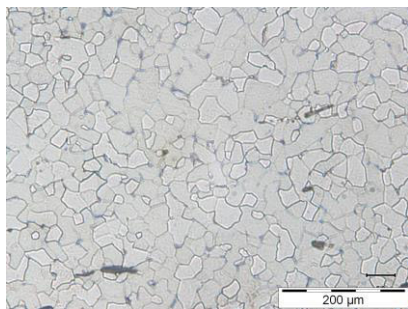
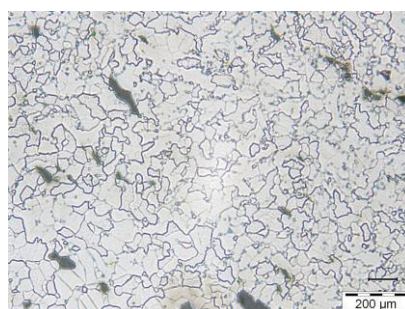
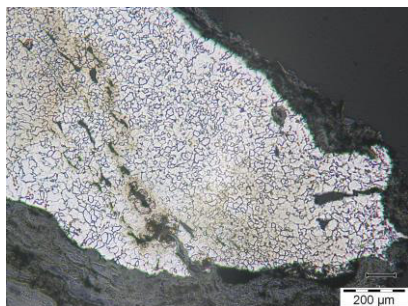
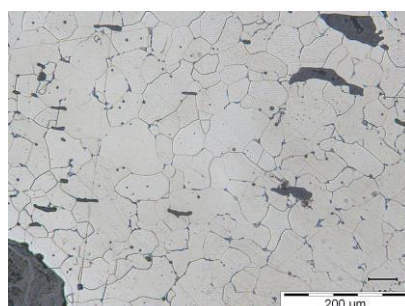


Foto PLC - 11 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PLC - 12 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo: Palácio do Marquês de Marialva - Lisboa****Identificação da amostra: Palácio do Marquês de Marialva****Codificação da amostra: PLC****Foto PLC - 13****Foto PLC - 14****Foto PLC - 13** – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor**Foto PLC - 14** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto PLC - 15****Foto PLC - 16****Foto PLC - 15** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto PLC - 16** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-1

Foto PR-1 - 01



Foto PR-1 - 02

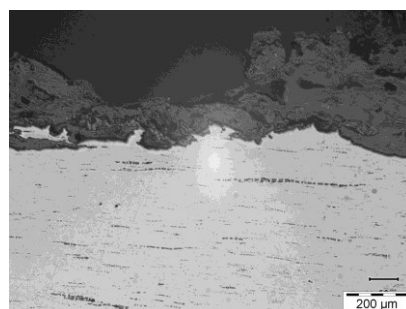


Foto PR-1 - 01 – Aspeto geral

Foto PR-1 - 02 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-1 - 03

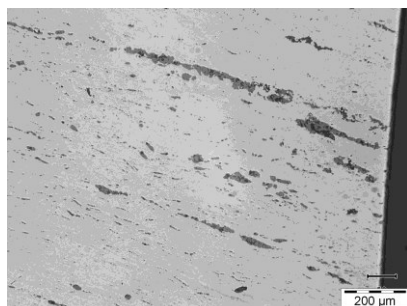


Foto PR-1 - 04

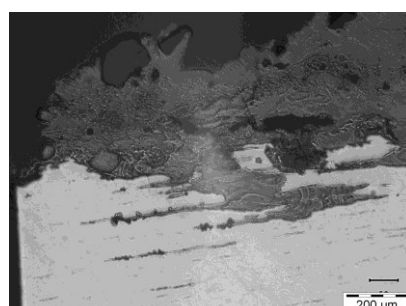


Foto PR-1 - 03 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-1 - 04 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-1 - 05

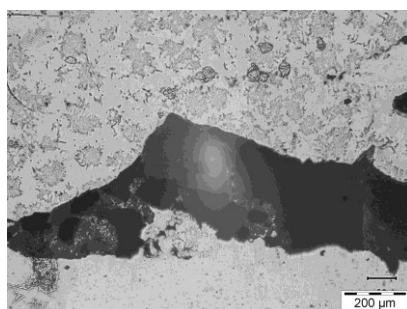


Foto PR-1 - 06

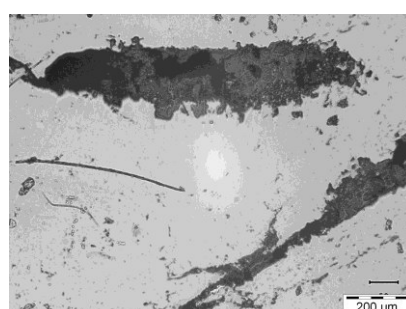


Foto PR-1 - 05 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PR-1 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-1

Foto PR-1 - 07

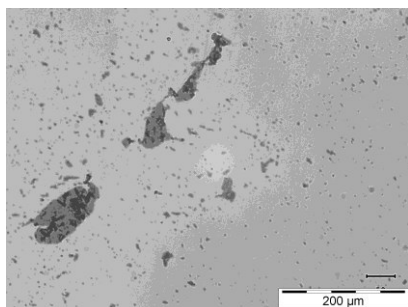


Foto PR-1 - 08

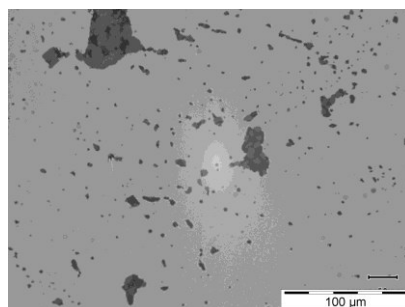


Foto PR-1 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PR-1 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PR-1 - 09

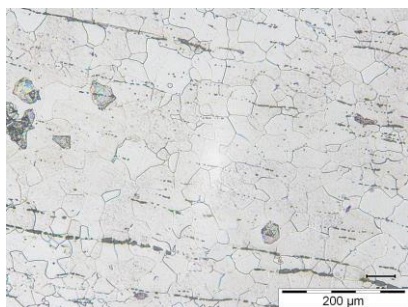


Foto PR-1 - 10

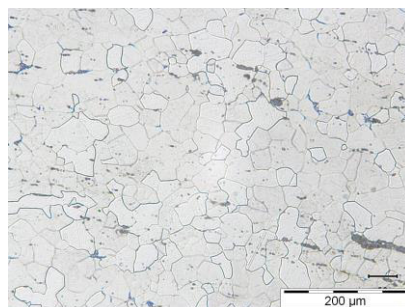


Foto PR-1 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-1 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-1 - 11

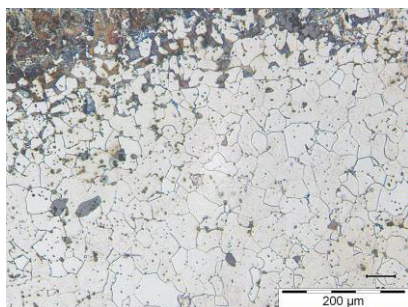


Foto PR-1 - 12



Foto PR-1 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-1 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-2

Foto PR-2 - 01



Foto PR-2 - 02

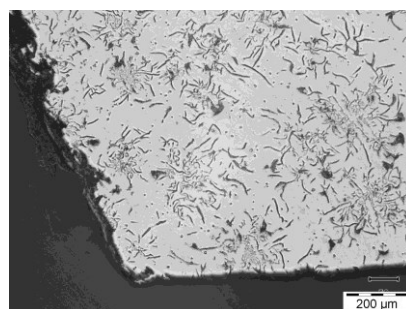


Foto PR-2 - 01 – Aspeto geral

Foto PR-2 - 02 – Caraterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-2 - 03

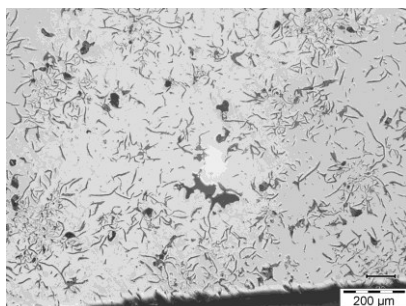


Foto PR-2 - 04

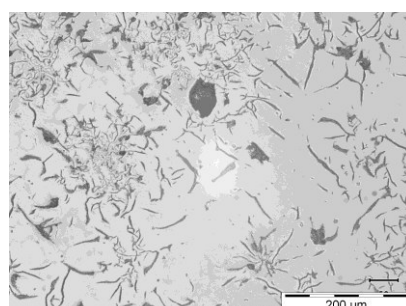


Foto PR-2 - 03 – Caraterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-2 - 04 – Caraterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-2 - 05

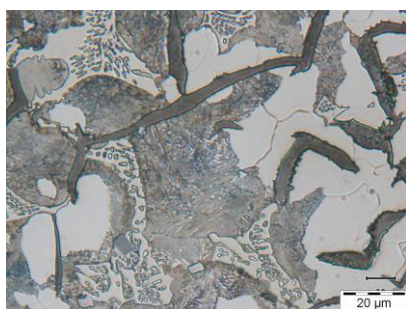


Foto PR-2 - 06

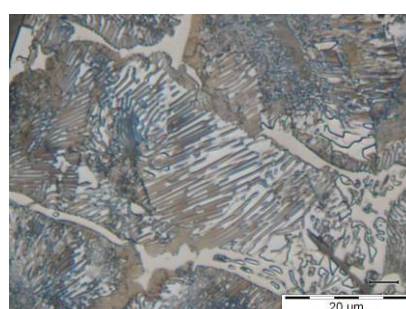


Foto PR-2 - 05 – Caraterização microestrutural – Corte após ataque químico – Pormenor

Foto PR-2 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-2

Foto PR-2 - 07



Foto PR-2 - 08

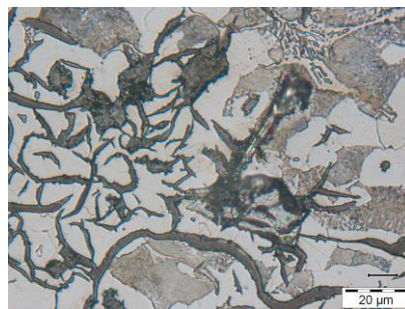


Foto PR-2 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte após ataque químico – Pormenor

Foto PR-2 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-3

Foto PR-3 - 01



Foto PR-3 - 02

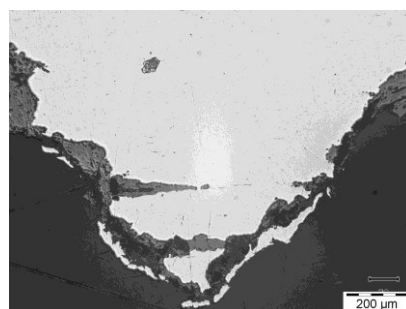


Foto PR-3 - 01 – Aspetto geral

Foto PR-3 - 02 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-3 - 03

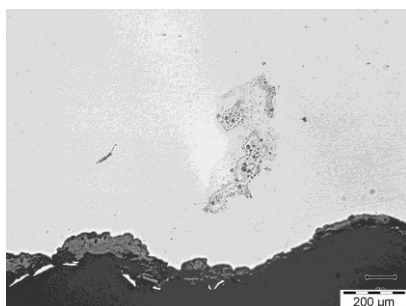


Foto PR-3 - 04

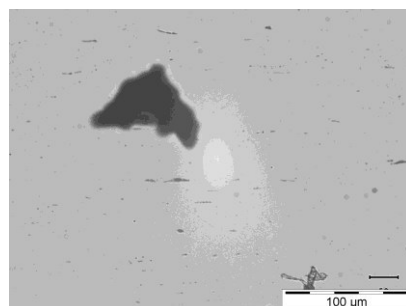


Foto PR-3 - 03 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-3 - 04 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto PR-3 - 05

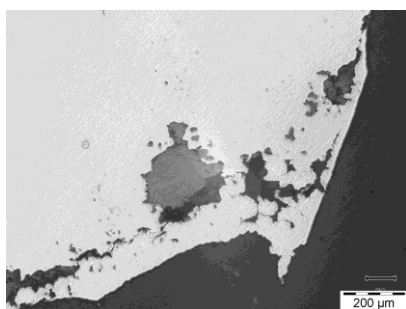


Foto PR-3 - 06

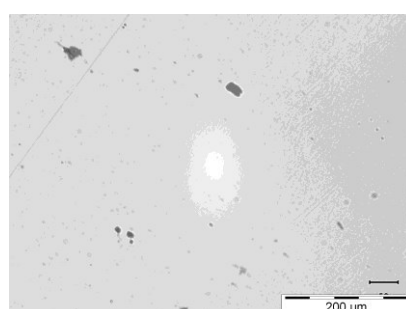


Foto PR-3 - 05 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto PR-3 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-3

Foto PR-3 - 07

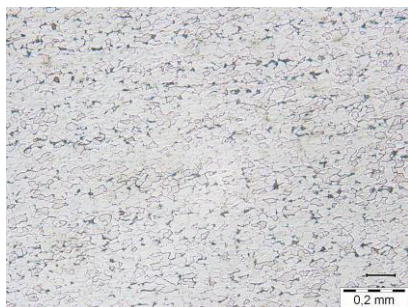


Foto PR-3 - 08

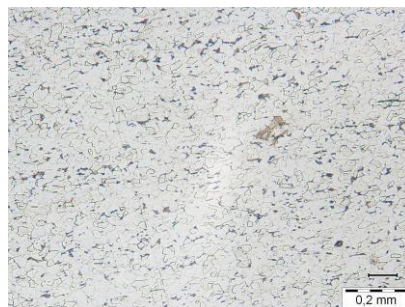


Foto PR-3 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-3 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-3 - 09

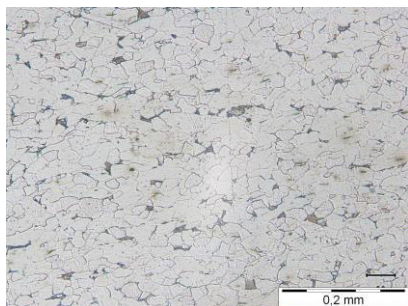


Foto PR-3 - 10

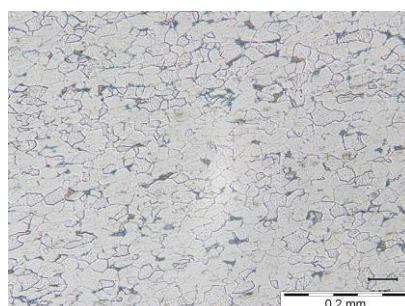


Foto PR-3 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-3 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-3 - 11

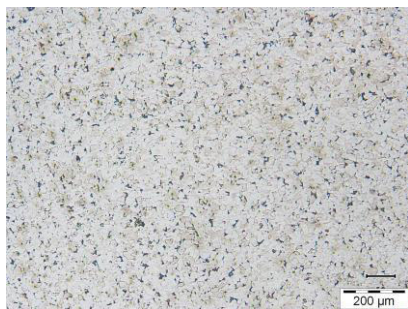
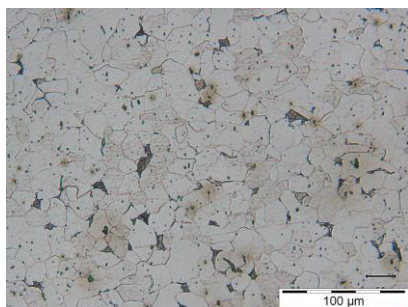
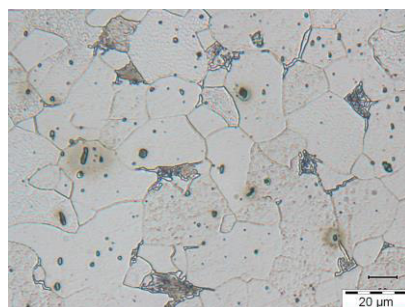


Foto PR-3 - 12



Foto PR-3 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto PR-3 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Palácio da Rosa - Lisboa**Identificação da amostra:** Palácio da Rosa**Codificação da amostra:** PR-3**Foto PR-3 - 07****Foto PR-3 - 08****Foto PR-3 - 07** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor**Foto PR-3 - 08** – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Palácio da Rosa - Lisboa

Identificação da amostra: Palácio da Rosa

Codificação da amostra: PR-4

Foto PR-4 - 01



Foto PR-4 - 02



Foto PR-4 - 01 – Aspecto geral antes da extração

Foto PR-4 - 02 – Aspecto geral

Foto PR-4 - 03

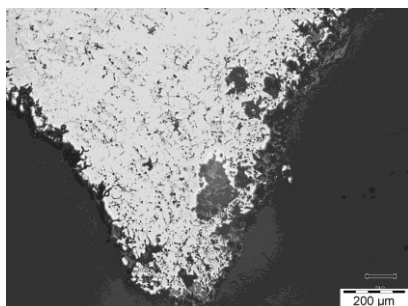


Foto PR-4 - 04

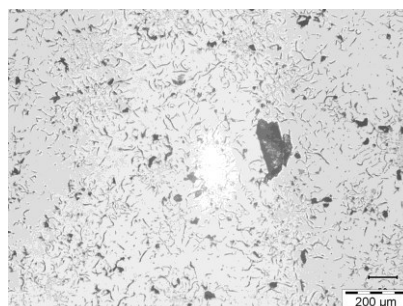


Foto PR-4 - 03 – Caracterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-4 - 04 – Caracterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-4 - 05

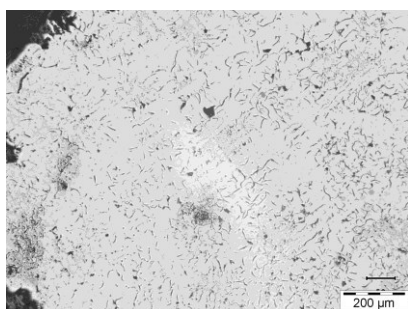


Foto PR-4 - 06

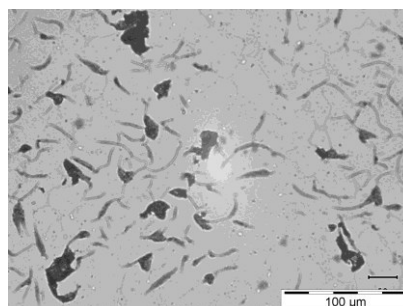
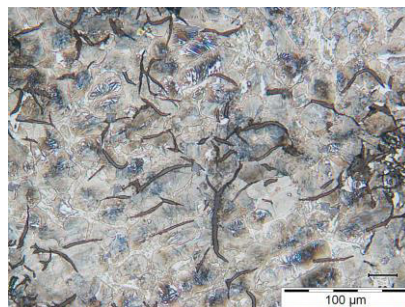


Foto PR-4 - 05 – Caracterização microestrutural – Corte – Pormenor

Foto PR-4 - 06 – Caracterização microestrutural – Corte – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção**Caso de estudo:** Palácio da Rosa - Lisboa**Identificação da amostra:** Palácio da Rosa**Codificação da amostra:** PR-4**Foto PR-4 - 07****Foto PR-4 - 08****Foto PR-4 - 07** – Caraterização microestrutural – Corte após taque químico – Pormenor**Foto PR-4 - 08** – Caraterização microestrutural – Corte após taque químico – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Calçada do Gascão- Lisboa

Identificação da amostra: Calçada do Gascão

Codificação da amostra: CG-1

Foto CG-1 - 01



Foto CG-1 - 02



Foto CG-1 - 01 – Aspecto geral

Foto CG-1 - 02 – Observação Macrográfica – Pormenor

Foto CG-1 - 03

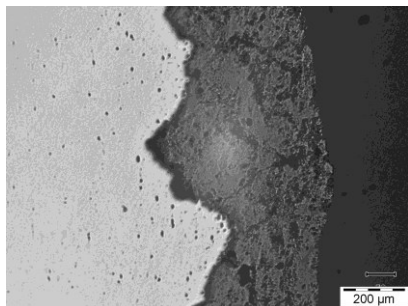


Foto CG-1 - 04

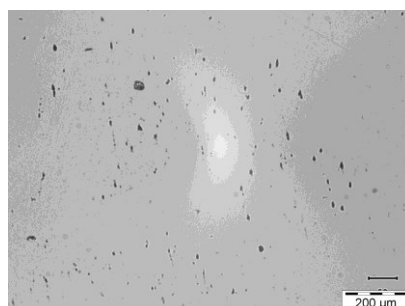


Foto CG-1 - 03 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto CG-1 - 04 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto CG-1 - 05

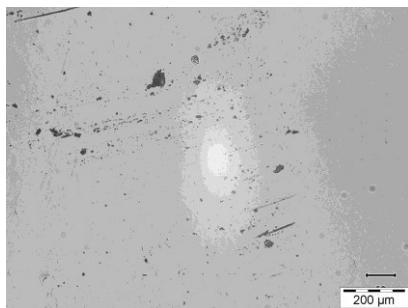


Foto CG-1 - 06



Foto CG-1 - 05 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Foto CG-1 - 06 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal – Pormenor

Materiais ferrosos em construções antigas – Caracterização e formas de intervenção

Caso de estudo: Calçada do Gascão- Lisboa

Identificação da amostra: Calçada do Gascão

Codificação da amostra: CG-1

Foto CG-1 - 07

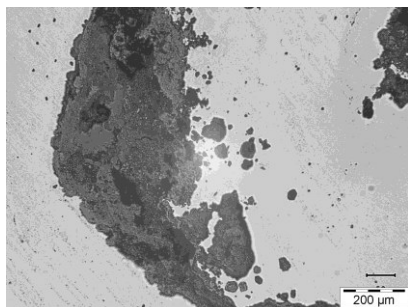


Foto CG-1 - 08

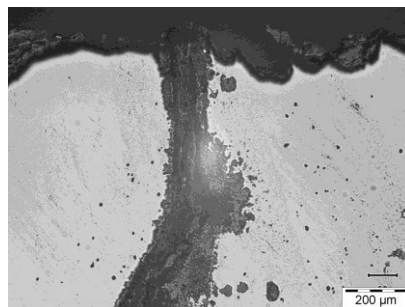


Foto CG-1 - 07 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto CG-1 - 08 – Caraterização microestrutural – Corte transversal – Pormenor

Foto CG-1 - 09

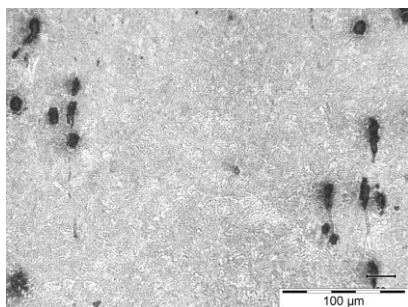


Foto CG-1 - 10

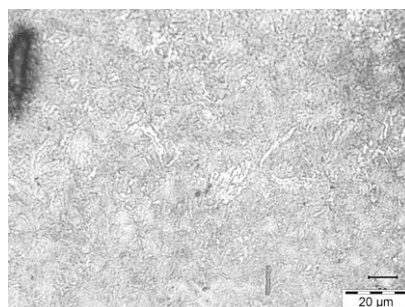


Foto CG-1 - 09 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto CG-1 - 10 – Caraterização microestrutural – Corte longitudinal após ataque químico – Pormenor

Foto CG-1 - 11

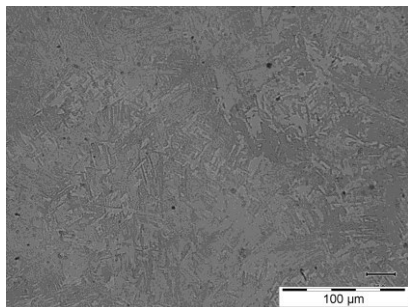


Foto CG-1 - 12

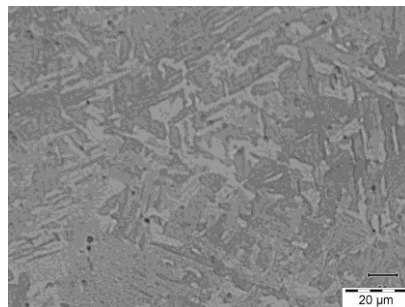


Foto CG-1 - 11 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor

Foto CG-1 - 12 – Caraterização microestrutural – Corte transversal após ataque químico – Pormenor